



**UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA REHABILITACIÓN**

**ESCUELA DE KINESIOLOGÍA**

**DESCRIPCIÓN DE LA AMPLITUD DE ACTIVACIÓN MÁXIMA DE LOS  
MÚSCULOS RESPIRATORIOS DURANTE EL REGISTRO DE CAPACIDAD  
VITAL LENTA A TRAVÉS DE ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE  
UTILIZANDO CARGA INCREMENTAL EN SUJETOS SANOS.**

**En requisito para optar al grado de Licenciado en Kinesiología**

Autores:

Leonardo Antonio Ahumada Fuentes

Miguel Ignacio Arancibia Apiolaza

Rodrigo Antonio Castilla Rubio

Inés Eliana Olivares Iturra

Profesor Guía: Klga. Paola Figueroa González.

Profesor Corrector: Klgo. Diego Robles

Santiago de Chile, 2015.

## DEDICATORIA

*“A mis padres, mis hermanas y todo aquel que haya pasado por este camino llamado Universidad. A Makarennna, mi gran amor y madre de mi hija. A Trinidad Isidora, mi pequeña, mi sangre, mi luz, mi motivo para seguir adelante y enfrentarme a la adversidad. A la vida, gracias.”*

*Leonardo.*

*“Dedico este trabajo a las personas que han estado conmigo a lo largo de este camino y que me han dado su apoyo y guía, en especial a mis padres Miguel y Norka, hermanos y Claudia. Sin ustedes no sería lo que soy, ni lo que seré. Muchas gracias por su Amor.”*

*Miguel.*

*“A mis padres, abuelitas y hermanos quienes han sido fundamental en este proceso, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible. A Inés que fue una gran ayuda y apoyo. A mi abuelito que desde arriba observa mis logros y quien es uno de los responsables de la persona que soy y quiero llegar a ser. Gracias por su amor y apoyo incondicional.”*

*Rodrigo.*

*“A su paciencia, dedicación, apoyo y comprensión, porque sin ustedes no tendría las herramientas para cumplir mis sueños ni la fortaleza de enfrentarme al mundo, para aquellos que me tomaron de la mano y guiaron cada vez que el camino se nublaba, con todo mi amor y agradecimiento.*

*A Mamá, Papá y Rodrigo.”*

*Inés.*

## **ÍNDICE**

Dedicatoria	2
Agradecimientos	6
Resumen	7
Introducción	8
Pregunta de Investigación	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
Marco Teórico	11
1. Mecánica Ventilatoria	11
1.1 Músculos Respiratorios	12
1.1.1 Músculos de la inspiración tranquila	12
1.1.2 Músculos de la inspiración forzada	15
1.1.3 Músculos de la espiración forzada	15
2. Entrenamiento Muscular Respiratorio	16

2.1 Fatiga Muscular Respiratoria	20
3. Pruebas Funcionales Respiratorias	21
3.1 Espirometria	22
3.2 Presión Inspiratoria Máxima	27
4. Electromiografía	29
Material y Método	34
1.1 Diseño del Estudio	35
1.2 Recolección de datos	35
1.2.1 Función Pulmonar	35
Criterios de aceptabilidad y reproducibilidad	37
1.2.2 Electromiografía de Superficie	37
1.2.3 Carga Inspiratoria	40
Resultados	41
1.1 Resultados Electromiograficos	44
1.2 Resultados Pruebas Funcionales Respiratorias	48

1.2.1 Pimax y Carga Umbral (%de Pimax)	<b>48</b>
1.2.2 Espirometria	<b>50</b>
Discusión	<b>51</b>
1.1 Relación resultados Electromiografía-Espirometria	<b>57</b>
1.1.1 Relación resultados Electromiografía-Espirometria para sujetos al 30% de Pimax basal	<b>57</b>
1.1.2 Relación resultados Electromiografía-Espirometria para sujetos al 40% de Pimax basal	<b>59</b>
1.1.3 Relación resultados Electromiografía-Espirometria para sujetos al 50% de Pimax basal	<b>61</b>
2. Relación carga Umbral con el descenso del predicho, por fases	<b>62</b>
3. Aporte diafragmático a diferentes cargas umbrales	<b>63</b>
Conclusión	<b>64</b>
Bibliografía	<b>66</b>
Anexos	<b>73</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar este proceso es imperioso para nosotros como equipo, mencionar y reconocer el mérito que tuvieron otras personas, dentro del desarrollo de nuestra Tesis, quienes contribuyeron con su oportuna asesoría e intervención, tuvieron por consiguiente, un rol crucial, es por ello que, aprovechando la oportunidad queremos dar nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra profesora guía y Kinesióloga Paola Figueroa G. quien nos entregó todas las herramientas, en conjunto con su apoyo y dedicación constante, para que de dicha forma nuestro proyecto finalizara de la forma más idónea, así mismo, es imperativo mencionar al profesor y Kinesiólogo Leonidas Arias P. quién fue fundamental al momento de realizar los registros electromiográficos, su posterior procesamiento y finalmente -pero no por ello menos importante- queremos agradecer a todas las personas que se dieron el tiempo y participaron de alguna u otra manera en este estudio.

## RESUMEN

La Rehabilitación Pulmonar ha tomado un rol fundamental dentro de la mejora en la calidad de vida de usuarios con diferentes condiciones de salud y un gran impacto en el aumento de la tolerancia al ejercicio en sujetos sanos. Dentro de este contexto se desarrolla el entrenamiento muscular respiratorio y nuestra investigación, la cual, tuvo como objetivo describir que sucedía con la musculatura respiratoria de sujetos sanos cuando era sometida a una carga incremental durante el registro de capacidad vital lenta, en este sentido, se buscó identificar la carga donde se producía la mayor amplitud de activación de la musculatura respiratoria y si esto se condice con la carga tradicionalmente aplicada del 30% de la  $P_{\text{imáx}}$  en la práctica clínica y diferentes estudios.

La investigación tuvo lugar en la Universidad Nacional Andrés Bello entre los años 2014 a 2015, en ella participaron estudiantes de Kinesiología sanos con un rango etario de entre 18 y 25 años. Se registraron variables espirométricas y electromiográficas a una carga inspiratoria incremental.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir que al 30% de la carga umbral se encuentra la mayor activación del músculo diafragma, lo cual, se condice con lo expuesto en la literatura y a su vez se aplica en la práctica clínica.

**Palabras Claves:** Electromiografía de superficie, Espirometría, Capacidad Vital Lenta, Presión Inspiratoria Máxima, Entrenamiento Musculatura inspiratoria, Threshold IMT.

## INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de la musculatura respiratoria se realiza en el contexto de la rehabilitación pulmonar y tratamientos respiratorios, pero también, se realiza en sujetos sanos, atletas, sujetos con enfermedades cardíacas, Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), enfermedades neurológicas y durante los pre o post-operatorios.<sup>(1)</sup>

Se sabe que el entrenamiento de la musculatura respiratoria tiene como beneficio un aumento de la fuerza y de la resistencia muscular, además, produce una disminución de la disnea en reposo y post ejercicio incrementa la saturación nocturna de oxígeno en sujetos con EPOC avanzado, disminuye la hipocapnia, aumenta capacidad física, produce mejoras en el volumen pulmonar, movilización de secreciones y cinética de aclaración del lactato entre otros.

La evidencia indica que la carga utilizada durante en entrenamiento de la musculatura respiratoria varía según el protocolo que se utilice, las cuales van desde el 30% de la Presión inspiratoria máxima ( $P_{im\acute{a}x}$ ) en adelante. Existen diferentes pautas propuestas para entrenar la musculatura inspiratoria, sin embargo, la carga, frecuencia, intensidad e incluso su duración no han sido establecidos mediante estudios clínicos randomizados y controlados, por lo que existe un alto espectro de opciones para una misma condición de salud, un ejemplo de esto es lo que ocurre en los sujetos con EPOC, donde las cargas de trabajo van desde el 30% hasta el 70%, incluso 80% de la  $P_{im\acute{a}x}$ , con una frecuencia de entrenamiento de una a dos veces por día, de 3 a 7 veces a la semana, donde la



duración de cada sesión varía entre los 5 a 30 minutos y el periodo de entrenamiento abarca desde las 4 a las 52 semanas.<sup>(1)</sup> Esto permite apreciar la existencia de una arbitrariedad en la práctica clínica con respecto a esta intervención. Sin embargo, el objeto de este estudio no es interiorizar en la arbitrariedad de todos los elementos que conforman el entrenamiento de la musculatura respiratoria con carga umbral, sino que, se enfocará específicamente en la carga de trabajo, donde, a pesar de la existencia de una gran variedad de protocolos como se ejemplifica anteriormente, los estudios mencionan que al utilizar una carga estándar del 30% del  $P_{\text{imáx}}$  se obtendrían los mejores resultados, ya que, en esta carga se encontraría la mayor contracción del músculo diafragma, no obstante, un estudio realizado en sujetos sanos, donde se evaluó la actividad de los músculos respiratorios mediante electromiografía de superficie, observó que las mujeres presentaban la mayor activación cuando se les aplicaba una carga de 20 cm de  $H_2O$ , mientras que, en los hombres esto ocurría a los 30 cm de  $H_2O$  <sup>(10)</sup>, lo que por consiguiente hizo que surgieran las siguientes preguntas: ¿será ésta la carga adecuada? ¿tendrá el mismo efecto en todos los sujetos independiente de su condición de salud, sexo, edad o contextura?, de estas interrogantes nació la intención indagar más acerca de este tema y por consiguiente realizar este estudio. Si bien, la duda surgió de la revisión de estudios que se enfocaban principalmente en sujetos con alguna condición de salud, es necesario partir conociendo el patrón normativo para luego seguir con lo patológico. Entonces, nos parece pertinente y necesario dilucidar en primera instancia a que carga los músculos respiratorios alcanzan su máxima amplitud de activación durante todo el ciclo inspiratorio, ya que nos permitirá registrar el comportamiento de la musculatura respiratoria durante la aplicación de carga incremental en sujetos jóvenes, sanos y la diferencia que existe entre las personas cuando se les aplica una carga incremental, aportando con esto a futuras investigaciones, que permitirán la personalización de esta herramienta terapéutica, generando una mayor factibilidad de alcanzar los beneficios que

proporciona esta terapia e influir significativa y positivamente en su calidad de vida, permitiéndole desenvolverse con la mayor funcionalidad posible dentro de la Sociedad.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿ A qué carga se alcanza la amplitud de activación máxima de los músculos respiratorios durante capacidad vital lenta registrada mediante electromiografía de superficie en sujetos sanos de entre 18 a 25 años que cursan la carrera de kinesiología en la Universidad Andrés Bello?.

### Objetivo General

- Describir la amplitud máxima de activación de la musculatura respiratoria con carga incremental durante capacidad vital lenta registrada mediante electromiografía de superficie en sujetos sanos de entre 18 a 25 años que cursan la carrera de kinesiología en la Universidad Andrés Bello.”

### Objetivos Específicos

- Analizar la amplitud de actividad de los músculos respiratorios mediante electromiografía de superficie durante la aplicación de una carga incremental.
- Identificar la mayor amplitud registrada mediante electromiografía de superficie.
- Analizar la variación de la capacidad vital lenta a diferentes cargas de trabajo.
- Correlacionar la mayor amplitud electromiográfica registrada con una carga específica de trabajo.

- Comparar la mayor amplitud electromiográfica con la variación espirométrica de Capacidad Vital Lenta.
- Analizar cual seria el trabajo óptimo de los grupos de carga umbral.

Es por eso que realizar un analisis de los porcentajes de activacion

## **MARCO TEÓRICO**

### **1. Mecánica Ventilatoria**

La ventilación es el volumen de aire que es responsable del intercambio de gases entre la atmósfera y los alvéolos, durante el proceso de ventilación la inspiración se produce activamente, mientras que la espiración lo hace de forma pasiva.<sup>(2)</sup>

Previo a una inspiración, las vías aéreas de conducción están llenas de aire con la misma composición que el aire contenido en los alvéolos. Durante la inspiración 500 ml. de aire atmosférico ingresan al cuerpo, sin embargo, solo 350 de esos ml. llegan a los alvéolos, los últimos 150 ml quedan en la nariz, faringe, laringe y tráquea, estructuras que conforman el espacio muerto anatómico. Durante la inspiración también, ingresan 500 ml. de aire a los alvéolos, sin embargo los primeros 150 ml. que ingresan son los que previamente se encontraban en las vías aéreas de conducción y solo los siguientes 350 ml. corresponden a aire atmosférico. Hacia el final de la inspiración los 500 ml. de aire que entrarán en los alvéolos se mezclarán por difusión con el aire contenido previamente en los alvéolos.<sup>(2)</sup>

Durante la espiración los primeros 150 ml. que salen del cuerpo corresponden al aire fresco que permaneció en el espacio muerto anatómico, al continuar la espiración los siguientes 350 ml. en salir corresponden a aire rico en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), simultáneamente, se produce una salida de 500 ml. de aire de los alvéolos, los primeros 350ml. de aire ricos en  $\text{CO}_2$  permanecen en las vías aéreas de conducción. Este paso marca el inicio de una nueva inspiración.<sup>(2)</sup>

### 1.1. Músculos Respiratorios

Durante la respiración la participación de los músculos varía dependiendo si es una respiración tranquila o forzada, así, los músculos que participan en una inspiración tranquila serán diferentes en número y nivel de activación con respecto a los que participan en una forzada.

Durante la espiración la diferencia radica principalmente en que una espiración tranquila se produce gracias a la retracción elástica del tórax y no debiese estar acompañada de una contracción muscular, mientras que en una espiración forzada, si existe contracción muscular.<sup>(2)</sup>

#### 1.1.1. Músculos de la inspiración tranquila

El principal músculo encargado de la inspiración tranquila es el diafragma, el cual es asistido por los músculos escalenos e intercostales externos, los músculos anteriormente mencionados participan activamente durante todo el ciclo inspiratorio.<sup>(3)</sup>

El músculo diafragma sólo participa durante la inspiración a diferencia de los músculos escalenos e intercostales, quienes, además de participar en la inspiración cumplen con otras funciones como estabilización y movilización de segmentos.<sup>(3)</sup>

Dependiendo de la literatura que se consulte, se postula que el diafragma realiza entre el 60% y el 80% del trabajo respiratorio total.<sup>(2, 4, 5, 6)</sup> Esto ocurre por la capacidad del diafragma para aumentar el diámetro de la caja torácica en sentido antero–posterior, vertical y medial – lateral. A pesar de ser un músculo estriado, el diafragma posee rasgos que lo hacen bioquímica y enzimáticamente semejante al músculo cardíaco, puesto que, es un músculo que goza de fibras de predominio oxidativas (55% aproximadamente), lo que conlleva que contenga un gran número de mitocondrias, a la vez, es capaz de degradar lactato y su irrigación sanguínea se encuentra entre los músculos estriados y el músculo cardíaco, todo lo anterior le confiere una gran resistencia a la fatiga, característica necesaria si se considera que un adulto sano respira normalmente de 12 a 20 veces por minuto y el diafragma debe contraerse la misma cantidad de veces.<sup>(3, 4)</sup>

Su forma asemeja a una cúpula y se origina en un centro tendinoso, a partir del cual, sus fibras se dirigen en forma radial hacia sus tres inserciones. La primera, es la porción costal y nace de los bordes superiores de la sexta a la doceava costilla, la segunda, es la porción esternal, que surge por la cara posterior del proceso xifoides y la última es la porción lumbar, ésta se inserta en las tres primeras vértebras lumbares a través de dos pilares tendinosos (ver anexo 2). Este músculo recibe la inervación del nervio frénico que está constituido por la raíces nerviosas de C3, C4 y C5.<sup>(3, 4)</sup>

Durante la contracción del diafragma, la cúpula desciende aumentando el diámetro vertical del tórax y disminuyendo el diámetro vertical del abdomen, lo que causa una

resistencia que estabiliza al diafragma y permite que se reclute la porción costal y con esto se logre la elevación de las costillas. Cuando el pulmón se encuentra a nivel de la capacidad residual funcional (CRF), gran parte del diafragma se encuentra en contacto con la pared torácica, esto conforma un área denominada zona de aposición (ver anexo 3), esta zona llega a representar el 30% de la pared del tórax cuando un sujeto se encuentra en posición sedente. El incremento de los diámetros antero-posterior y medial-lateral se producen gracias a la transmisión de una presión positiva abdominal que ocurre desde la zona de aposición a la caja torácica.<sup>(3,4,6)</sup>

Los siguientes participantes en una inspiración tranquila son los músculos escalenos, estos tres músculos se distribuyen de la siguiente manera: El escaleno anterior surge de el tubérculo anterior de los procesos transversos de C3 – C6 insertándose en el borde interno de la primera costilla. El escaleno medio nace en los tubérculos posteriores de los procesos transversos de C2 – C7 insertándose en el borde superior de la primera costilla. El escaleno posterior surgen de los tubérculos posteriores de C5 – C7 y se inserta en la parte externa de la segunda costilla. La inervación de los escalenos es de los ramos ventrales de los nervios espinales C3 – C7. La activación de estos músculos con la columna cervical estabilizada causa el aumento de volumen en el tórax debido a una elevación de las costillas superiores y el esternón.<sup>(3)</sup>

Los últimos participantes de la inspiración tranquila son los músculos intercostales externos, estos, se ubican desde la cara inferior de una costilla a la cara superior de la siguiente son 7 músculos por cada costado y su dirección de fibra es ínfero – medial. Están inervados por los nervios intercostales ramos ventrales T2 – T12 y su función es estabilizar los espacios intercostales resultando un aumento de la rigidez torácica evitando el colapso.<sup>(3)</sup>

### 1.1.2 Músculos de la inspiración forzada

Durante la inspiración forzada se añaden otros músculos, sumando su acción a los músculos que ya participan en la inspiración tranquila, provocando con su contracción un aumento directo o indirecto del volumen torácico. Estos músculos entran en acción con el objetivo de aumentar el volumen de aire que ingresa durante la inspiración y además aumentar la frecuencia respiratoria como forma de compensación ante el aumento de la demanda de oxígeno en situaciones fisiológicas como la respuesta al ejercicio o en condiciones patológicas como sujetos con alguna condición de salud donde uno o más músculos de la inspiración tranquila presenta alguna disfunción.<sup>(3)</sup>

Los músculos participantes en este tipo de inspiración son: Serrato posterosuperior, Serrato posteroinferior, Elevador de la costilla (corto y largo), Esternocleidomastoideo, Dorsal ancho, Iliocostal torácico y cervical, Pectoral menor, porción esternocostal del Pectoral mayor, Serrato anterior y cuadrado lumbar. El estudio detallado de estos músculos no es atingente a este estudio, por lo que no se profundizará en este contenido. La inserción, función e inervación está disponible en el anexo número 4 (ver anexo 4).

### 1.1.3 Músculos de la espiración forzada

Como fue mencionado con anterioridad la espiración tranquila se realiza de forma pasiva mientras que la espiración forzada al ser un proceso activo requiere de la activación de los músculos abdominales (recto del abdomen, oblicuo interno, oblicuo externo y transversos del abdomen), transversos del tórax e intercostales. La acción de estos músculos provoca una flexión torácica y depresión de las costillas, generando con esto, una disminución rápida y forzada del volumen intratorácico, tal como ocurre al

toser, estornudar o exhalar hasta llegar al volumen de reserva espiratorio.<sup>(3)</sup> La función, inervación e inserción detallada de estos músculos se encuentra en el anexo número 5 (ver anexo 5).

## 2. Entrenamiento Muscular Respiratorio

El entrenamiento de la musculatura respiratoria se realiza en el contexto de la rehabilitación pulmonar y tratamientos respiratorios, pero también se realiza en sujetos sanos, atletas, sujetos con enfermedades cardíacas, EPOC, enfermedades neurológicas y pre o post-quirúrgico.<sup>(7,8,12, 14)</sup>

El entrenamiento muscular respiratorio consiste en aplicar una carga a la musculatura respiratoria con el fin de aumentar la fuerza muscular y con esto lograr un incremento del volumen de aire movilizado.<sup>(7)</sup>

Existen tres tipos de entrenamiento para la musculatura respiratoria. El primero se denomina hiperpnea voluntaria isocápnica (ver anexo 6), este entrenamiento consiste en aumentar la ventilación de los sujetos hasta el 60 - 70% de la ventilación máxima voluntaria (MVV), durante un tiempo sostenido (15 minutos aproximadamente) lo que provoca un aumento de la frecuencia respiratoria y del volumen corriente. El entrenamiento con este tipo de dispositivo consiste en mantener una frecuencia respiratoria alta, pero con una concentración estable de CO<sub>2</sub> en sangre, esto se logra por medio de la incorporación de una bolsa que recoge el aire exhalado y lo mezcla con el aire ambiente. Este tipo de entrenamiento abarca tanto la inspiración como la espiración.<sup>(7)</sup>



El segundo tipo de entrenamiento se realiza con carga resistiva (ver anexo 7), el dispositivo consiste en una boquilla con una superficie con agujeros que al girar se puede graduar el diámetro de la abertura por la cual respira el sujeto, mientras menor sea el diámetro mayor es la resistencia impuesta al sujeto, cuenta con 6 resistencias que deben ser vencidas progresivamente, teniendo cuidado de que la frecuencia respiratoria y el volumen corriente permanezcan constante.<sup>(7)</sup>

Por último nos encontramos con el entrenamiento realizado con válvula de carga umbral (ver anexo 8), que consiste en un dispositivo que permite el flujo de aire sólo después de que el sujeto logre vencer una presión inspiratoria impuesta, la cual es regulable mediante la tensión de un resorte y depende de la  $P_{im\acute{a}x}$  que alcance el sujeto. En el entrenamiento muscular inspiratorio se aconseja ocupar estas dos últimas debido a que su costo es menor y la carga de trabajo no depende del flujo movilizado.<sup>(7)</sup>

Se sabe que las enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares pueden limitar el ejercicio físico.<sup>(5,2,10, 12)</sup> Pero ocupando un entrenamiento muscular respiratorio la tolerancia al ejercicio aumenta considerablemente.<sup>(12,13)</sup> En una revisión sistemática realizada el año 2013 se incluyeron 11 estudios controlados y aleatorizados, que sumados contenían un  $n = 287$  sujetos con insuficiencia cardiaca crónica, de los cuales, 148 fueron sometidos a entrenamiento de la musculatura inspiratoria y el resto conformaron grupos control, cuatro de los estudios utilizaron una carga del 30% de la  $P_{im\acute{a}x}$ , uno el 40%, cinco el 60% y otro el porcentaje que representaba la mayor presión inspiratoria alcanzada por el sujeto. Los programas de ejercicios tenían una duración que iban desde los 10 minutos hasta otros que buscaban llegar a la fatiga, la frecuencia de la sesiones fue desde 3 días a la semana hasta 7 días por semana con una duración total del programa de las 6 a 12 semanas. Se concluyó que luego del programa de entrenamiento todos los sujetos presentaron un aumento de tolerancia al ejercicio.<sup>(9)</sup>

La actividad física general si bien aumenta la capacidad de resistencia de los sujetos no asegura un mayor rendimiento de los músculos respiratorios, es así, como dentro de un estudio se plantea que un atleta no muestra diferencias en su musculatura respiratoria en comparación a sujetos sedentarios<sup>(11)</sup>, con esto se podría inferir que la actividad física no necesariamente fortalece la musculatura respiratoria, tomando gran importancia el entrenamiento muscular respiratorio, el cual ha demostrado a través de diferentes estudios que sí genera un impacto en la eficiencia de los músculos respiratorios.<sup>(5, 6, 7, 8)</sup>

En la clínica y en el deporte, el entrenamiento de la musculatura respiratoria se utiliza cada vez más para mejorar la capacidad aeróbica y retrasar la fatiga por medio del retraso de la presentación del metaborreflejo, el cual se genera cuando existe fatiga de los músculos respiratorios a causa de un esfuerzo de alta intensidad y mantenido en el tiempo, este reflejo se produce por la respuesta vasoconstrictora del sistema simpático, que compromete el flujo sanguíneo de los músculos esqueléticos, producto de la activación de un reflejo de origen metabólico mediado por la acción de la musculatura respiratoria, trayendo como consecuencia el aumento de la fatiga en los músculos esqueléticos, ya que se produciría una especie de demanda competitiva por el flujo de sangre entre ellos.<sup>(7)</sup>

En un estudio realizado a 26 sujetos con sobrepeso y obesidad se demostró que con un entrenamiento respiratorio de hiperventilación normocápnica, sumado a un régimen nutricional, resultó en una baja de peso, una mejora en el desempeño de actividad física y una menor sensación de disnea.<sup>(3)</sup> Estos beneficios adquiridos gracias al entrenamiento de la musculatura respiratoria no solo se observan en sujetos obesos, estudios realizados recientemente en enfermedad obstructiva pulmonar crónica demuestran beneficios con un programa de entrenamiento de 24 meses, que incluía entrenamiento aeróbico, ejercicio de extremidades superiores y entrenamiento de los músculos respiratorios con

válvula umbral durante 30 minutos, aplicando una carga del 25% de la  $P_{\text{imáx}}$  realizando un incremento de la carga hasta el 40% de la  $P_{\text{imáx}}$  a tolerancia. al término del estudio se observaron los siguientes resultados: reducción de la disnea, reducción del riesgo cardiovascular, mejora en la calidad de vida y aumento de la resistencia al ejercicio físico.<sup>(8,10)</sup>

Como se mencionó anteriormente el entrenamiento muscular respiratorio también trae beneficios a sujetos sanos. En un estudio realizado el año 2013, fueron entrenados dos grupos de sujetos sanos con rango etario de  $20.4 \pm 1.7$  años. El primer grupo quedó con un programa de cicloergómetro mientras respiraban a través de una máscara que contenía válvulas umbrales, mientras que el segundo grupo solo utilizó cicloergómetro, ambos programas se realizaron durante 6 semanas. El resultado de este entrenamiento reveló que los sujetos con el entrenamiento aeróbico sumado al entrenamiento muscular respiratorio mejoraron su resistencia, reduciendo considerablemente su nivel de fatiga al terminar la actividad en comparación al grupo control.<sup>(9)</sup>

En un estudio realizado en 39 sujetos jóvenes, sanos, de ambos sexos en el año 2013 reveló que la contracción máxima del diafragma se produce a los 30 cm de  $H_2O$  en hombres mientras que en mujeres ocurre a los 20 cm de  $H_2O$ .<sup>(8,10)</sup>

Otro estudio en sujetos sanos mostró que al aplicar una carga de trabajo incremental y comparar al diafragma con los músculos intercostales, la eficiencia del diafragma se mantenía constante, no así los intercostales, los cuales disminuyen su amplitud a un porcentaje del 40% al 50% del  $P_{\text{imáx}}$ .<sup>(7)</sup>

## 2.1 Fatiga Muscular Respiratoria

La fatiga se define como el descenso de la fuerza ejercida y/o velocidad de activación de un músculo durante una contracción mantenida en el tiempo, esta puede ser central o periférica.<sup>(7)</sup> En el caso de la fatiga periférica, puede aparecer por dos razones, la primera es por la disminución en la disponibilidad de sustratos y la segunda se relaciona con la imposición de una carga demasiado alta que imposibilita al músculo para realizar una contracción, en el registro electromiográfico la fatiga se observa mediante la disminución de la frecuencia y un aumento de la amplitud.<sup>(10)</sup>

Como se mencionó anteriormente, el músculo diafragma posee una gran resistencia a la fatiga, pero en presencia de una condición de salud y si es sometido constantemente a una alta carga de trabajo puede llegar a la fatiga.<sup>(4)</sup>

En una revisión sistemática realizada el año 2013 se tomaron en consideración 77 estudios de los cuales 32 consistían en entrenamiento muscular inspiratorio con carga umbral, 30 con entrenamiento físico general, 11 con la técnica de hipercapnia voluntaria y el resto, eran combinaciones de las técnicas, con estos estudios podían observar la que pasaba con la fatiga muscular inspiratoria. De los 32 estudios realizados con carga umbral, 27 de ellos ocuparon porcentaje del  $P_{im\acute{a}x}$  para designar la carga que cada sujeto tuvo que superar. Dentro de los estudios revisados nos encontramos con un entrenamiento de válvula a carga umbral en el cual se mostraba que al aplicar una carga del 60% del  $P_{im\acute{a}x}$  la efectividad de los músculos inspiratorios baja, dando como conclusión que sobre el 60% del  $P_{im\acute{a}x}$  se produciría la fatiga muscular inspiratoria.<sup>(15)</sup>

### 3. Pruebas Funcionales Respiratoria

Las Pruebas de Función Respiratoria (PFR), están enfocadas en el análisis protocolar y descriptivo de las diversas funciones respiratorias. Las PFR son descritas como procedimientos evaluativos o exámenes clínicos cuya finalidad es observar la funcionalidad respiratoria en un aspecto específico.<sup>(16,17,18)</sup> Es en estos trabajos donde se detallan de forma específica las principales características y finalidades que tienen cada una de las PFR. Las cuales son una herramienta indispensable en la práctica clínica, puesto que proporcionan una ayuda preponderante, para la corroboración de un diagnóstico médico en base a alguna alteración en la condición de salud del sujeto, o bien para la evaluación de la respuesta a algún tratamiento específico o pronóstico, por otra parte ya sea a corto o largo plazo, potencian la mejoría de una condición de salud en particular, y finalmente permiten observar y evaluar la evolución de una alteración funcional específica.<sup>(17,19)</sup> Existen ciertas diferencias entre cada PFR, principalmente en el protocolo del procedimiento, indicaciones del evaluador, herramientas e implementos, así como en los parámetros a evaluar, ya sean volúmenes, presiones o flujos.

Con respecto a las diferencias protocolares, el estudio de Vargas-Domínguez se encargó de analizar cada PFR, explicando que, dentro de las PFR se pueden describir cuatro tipos según sus procedimientos: Las de pruebas de control de la respiración; las de pruebas de intercambio gaseoso; las encargadas de analizar la mecánica de la respiración y, por último, las pruebas de ejercicio, que incluyen, como subgéneros, a los dos tipos de pruebas anteriores.<sup>(16)</sup> Cada una de las diferentes variedades de PFR tienen como finalidad diferentes objetivos, tales como, ser una herramienta eficaz para la corroboración de diagnósticos y estimación de la función respiratoria en sujetos con alteraciones en su condición de salud, tanto alteraciones obstructivas, como restrictivas, asimismo son una gran herramienta en evaluaciones pre y postoperatorias y, junto con

ello, tener un gran uso para la evaluación de la respuesta a tratamientos médicos. <sup>(17,19)</sup>

Entre las PFR más realizadas en torno al ámbito clínico, se encuentra la espirometría y la Presión inspiratoria máxima ( $P_{im\acute{a}x}$ ), la primera se puede clasificar dentro de las PFR encargadas de evaluar la mecánica de la respiración, mientras que la segunda, encuentra asilo dentro de las pruebas encargadas del control de la respiración. Tanto la espirometría, como la  $P_{im\acute{a}x}$ , son de vital importancia para este proceso investigativo y serán descritas en profundidad a continuación:

### 3.1 Espirometría

Como se mencionó anteriormente, la *espirometría* es un examen evaluativo de la función pulmonar y pertenece al grupo de las pruebas de mecánica de la respiración. <sup>(16)</sup>

La *espirometría* es considerada como una prueba dinámica, que requiere de la participación directa del usuario junto con la del evaluador, además del uso de una adecuada instrumentación, ambiente idóneo y condiciones específicas. Es de fácil registro y técnica, pero, como todo procedimiento dependiente de la interpretación del evaluador, puede presentar errores tanto en el procedimiento, como en su interpretación. <sup>(20,21,22)</sup>

En trabajos actuales donde el contenido se ha centrado en la descripción del procedimiento espirométrico, se deja en claro que existen dos tipos de *espirometrías*; una pasiva o simple, y una activa o forzada. La diferencia entre estos dos tipos de *espirometría* radica en el factor “*tiempo*”, el cual debe ser menor durante la ejecución de la maniobra por parte del sujeto evaluado, esto provoca el incremento en el esfuerzo de este último, haciendo que la maniobra sea más “forzada o activa”. <sup>(21,22,23,24)</sup>

Otros trabajos, con igual finalidad en la descripción del procedimiento espirométrico, dan énfasis en las contraindicaciones en las cuales no se encuentra restringida la realización de la *espirometría*. Estas deben ser consideradas para sujetos que no toleren o no sea recomendable la realización de la técnica. Entre las contraindicaciones, existen tanto, las que son denominadas como absolutas, así como otras que son denominadas relativas. Con las absolutas no se recomienda por ningún caso la realización de la prueba, mientras que con las relativas se hace necesario la realización de una evaluación previa del usuario para dilucidar si podrá tolerar la maniobra; si es así, es aceptable la realización del procedimiento, de lo contrario se hace imposible que esta sea efectuada.<sup>(21,22,23,24)</sup>

Entre las contraindicaciones absolutas se encuentran : Inestabilidad Hemodinámica, Embolismo Pulmonar, Neumotórax reciente (2 semanas), Hemoptisis aguda, Infecciones Respiratorias activas, Infarto Agudo al Miocardio reciente (máximo 7 días), Angina Inestable, Aneurisma Aórtico de más de 6 cm, Hipertensión intracraneana y desprendimiento de retina agudo. Mientras que entre las relativas se pueden mencionar: Niños menores de 5-6 años o que no sigan indicaciones, Pacientes confusos o con demencia, Cirugía Abdominal o Torácica reciente, Cirugía Cerebral u Ocular, Vómitos o Náuseas agudos, Crisis Hipertensiva, Problemas Bucofaciales que limiten la sujeción de la boquilla.<sup>(21,22,23,24)</sup>

Durante la ejecución de una prueba espirométrica se realiza el registro diferentes valores, algunos de ellos solo pueden ser obtenidos en uno de los dos tipos de *espirometría*. De la *espirometría* lenta obtendremos Volumen Corriente (VC), Capacidad Vital lenta (CVL), Capacidad Inspiratoria (CI), Volumen de Reserva Inspiratoria (VRI), Volumen de Reserva Espiratoria (VRE) y Capacidad Pulmonar Total (CPT), mientras que, durante la realización de la *espirometría* forzada obtendremos el

registro de volúmenes tales como Capacidad Vital Forzada (FVC) y Volumen Espiratorio Forzado en un segundo ( $FEV_1$ ), además, del registro de ciertos flujos, los cuales variarán dependiendo si estos son durante fase espiratoria o inspiratoria en la fase espiratoria obtendremos el registro de: Flujo Espiratorio Medio ( $FEF_{25-75}$ ), Flujo Espiratorio Máximo (PEF) y los Flujos Espiratorios Instantáneos ( $FEF_{25}$ ,  $FEF_{50}$ ,  $FEF_{75}$ ) y durante la fase inspiratoria se registran: los Flujos Inspiratorio Medio ( $FIF_{25-75}$ ), Flujo Inspiratorio Máximo (PIF) y los Flujos Espiratorios Instantáneos ( $FIF_{25}$ ,  $FIF_{50}$ ,  $FIF_{75}$ ).  
(22,23,24)

Estudios recientes definen a la *espirometría* como el procedimiento clínico evaluativo Gold Standard o con mejor relación costo/beneficio, en lo que respecta al análisis de la función respiratoria. (20,25,26,27,28,29,30) En la actualidad, existe una extensa gama de publicaciones en las que se utiliza tanto el procedimiento espirométrico en sí, como los resultados obtenidos en las mediciones, los cuales van desde descripciones detalladas del procedimiento, el cual es altamente protocolizado, a estudios con la *espirometría* como herramienta investigativa, pasando por meta-análisis de resultados y análisis de mediciones, hasta la eficacia en detectar patologías respiratorias, así también como estudios donde es utilizada para corroborar la eficacia de ciertas ecuaciones de acuerdo a factores tan importantes como edad, etnia, sexo y condiciones de vida. (22,31,32,33)

Otros trabajos actuales con un enfoque en meta-análisis y descripciones de procedimientos *espirométricos*, han definido a la *espirometría* no solo como el Gold Standard en la evaluación de la función pulmonar, sino también como el Gold Standard en cuanto a la confirmación diagnóstica de enfermedades del orden restrictivo y obstructivo, entre estas últimas las más analizadas son el Asma y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). (20,25,26,27,28,29,30)



Como se define anteriormente, la finalidad del uso de la *espirometría* es, específicamente, la evaluación de la función pulmonar. Desde sus inicios se utiliza como comprobación de diagnóstico de patologías respiratorias. Estudios recientes describen la eficacia de la espirometría en la corroboración de patologías de los sujetos a los cuales se les realiza el procedimiento.<sup>(24,34)</sup>

En un estudio se enfocó en la evaluación *espirométrica* propiamente tal, así como en la efectividad de la *espirometría* como método de detección y corroboración de alteraciones respiratorias, por sobre otras pruebas funcionales respiratorias, como la oscilación forzada, entregando resultados en los cuales la *espirometría* queda mejor posicionada que las otras PFR, tanto por su costo, así como por su efectividad.<sup>(30)</sup>

Si nos enfocamos en los sujetos a los cuales se les realiza una *espirometría*, ésta es comúnmente utilizada para la evaluación del comportamiento y desempeño pulmonar en sujetos con alteraciones respiratorias, pero también puede ser realizada en sujetos sanos, sobretodo en estos últimos años. Si nos enfocamos en las mediciones espirométricas en sujetos sanos, veremos que son realizadas con la finalidad de analizar la función respiratoria sin la influencia de alteraciones presentes, con el fin de observar cómo es su comportamiento normal.<sup>(31,32,35)</sup> Investigaciones recientes como las de Thompson y cols. o Layton y cols., analizan a sujetos sanos caucásicos y deportistas, respectivamente. El primero se centra en el análisis de resultados espirométricos de caucásicos, comparándolos con los estudios de Stajonevic, llegando a la conclusión que los resultados de Stajonevic son correctos. El segundo compara el procedimiento pletismográfico optoelectrónico, con la *espirometría*, como método de análisis de la función pulmonar en deportistas sanos, llegando a la conclusión de que la *espirometría* es una herramienta de confianza <sup>(32,33,36)</sup>. Así también, la *espirometría* se realiza en sujetos sanos para ver la eficacia de las diferentes ecuaciones que existen.<sup>(31,32,35,37)</sup> Esto

es posible apreciarlo, por ejemplo, en los estudios de Mikulski y cols., Stanojevic y cols. y los dos estudios de Quanjer y cols., en donde se realizan meta-análisis de resultados espirométricos con diferentes ecuaciones. Destacando sobre ellos, el trabajo de Quanjer y cols. que además agrega los factores etarios y étnicos, entregando como resultados, que son factores preponderante.<sup>(35)</sup>

Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de *espirometría*, una lenta o pasiva y una forzada o activa. En esta investigación se utilizará como herramienta investigativa la *espirometría* simple o pasiva. Esto debido a que la finalidad de nuestro trabajo es la descripción de la amplitud de la musculatura respiratoria durante toda su fase contráctil, por lo tanto necesitaremos un registro espirométrico que nos permita describir la fase activa del ciclo respiratorio, o sea, la fase inspiratoria.

El mejor registro que nos entrega este parámetro, es la Capacidad Vital (CV), específicamente la Capacidad Vital Lenta (CVL). La CVL es un parámetro estable, completo, controlado y que provoca la menor fatiga posible, en comparación a la Capacidad Vital Forzada (CVF), registro obtenido en una *espirometría* activa o forzada. La CV puede ser definida como el registro máximo de movilización de aire en un ciclo respiratorio, comprendiendo como ciclo respiratorio fase inspiratoria y fase espiratoria, desde Volumen Corriente (VC) hacia una Capacidad Pulmonar Total (CPT), sin que se le aplique un esfuerzo mayor (velocidad) por parte del sujeto a evaluar<sup>(22,23,38)</sup>. En uno de los trabajos analizados se estudió la detección de la obstrucción de la vía aérea y el resultado obtenido luego de realizado el estudio otorgó una mayor efectividad a la CVL, por sobre la CVF con respecto al papel que cumplen en la relación con el FEV<sub>1</sub>, por lo cual obtenemos una justificación que respalda nuestra elección (ver anexo 9).<sup>(38)</sup>

### 3.2 Presión Inspiratoria Máxima

Se conoce como presión intrapleurar, a la presión que se encuentra entre la pleura parietal y la pleura visceral en la cavidad torácica. La elasticidad de los pulmones, sometida a una constante retracción, y la presión ejercida por la cavidad torácica en sentido opuesto, generan un gradiente opuesto que mantiene esta presión entre valores negativos aproximados a -5 cm H<sub>2</sub>O, por lo tanto es esta presión la que mantiene el pulmón en su estado dinámico y evita su colapso. Al realizar la inspiración, ocurre un aumento de la presión negativa existente, debido a la contracción de la musculatura respiratoria que actúa traccionando la pared torácica, aumentando la presión negativa y, por consiguiente, el aumento volumétrico pulmonar y la consecuente expansión pulmonar y torácica.<sup>(4)</sup>

Se sabe que del ciclo respiratorio, a diferencia de la fase espiratoria, la fase inspiratoria es completamente activa, más aún si es realizada con la finalidad de llegar a volúmenes máximos, como la Capacidad Pulmonar Total (CPT), con participación constante de la musculatura respiratoria, principalmente el diafragma, y con la inclusión de musculatura accesoria en fases inspiratorias más cercanas a CPT. Como es sabido, A su vez, al iniciar la fase inspiratoria, existe un aumento de la presión negativa ya existente. Si a esto, le agregamos una inspiración máxima con un trabajo mayor de la musculatura respiratoria, esta presión aumentará a parámetros mayores. Es esta presión generada lo que se denomina *Presión Inspiratoria Máxima* o  $P_{imáx}$ .<sup>(39)</sup>

Es debido a esto que la  $P_{imáx}$  sea ampliamente utilizada en evaluación clínica de la condición de la fuerza muscular, ya que al ser un parámetro obtenido durante la fase inspiratoria (fase activa de contracción muscular), se obtiene una relación directa entre la actividad muscular y la  $P_{imáx}$ , llegando su relación a enlazar la  $P_{imáx}$  con el entrenamiento muscular respiratorio.<sup>(39)</sup> Trabajos como los de Prigent y cols., en donde se analiza la

efectividad de estimar la  $P_{im\acute{a}x}$  en sujetos con Miastenia Gravis y Guillain Barré para verificar debilidad muscular respiratoria, llegó a la conclusión de que, a pesar de ser efectiva la  $P_{im\acute{a}x}$  en la confirmación de debilidad muscular, hacen falta más estudios de confirmación.<sup>(40)</sup> El trabajo de Tudorache y cols., donde se estudia la efectividad de la  $P_{im\acute{a}x}$  para estimar el grado de exacerbación en sujetos con EPOC, concluyó que la  $P_{im\acute{a}x}$  es un indicador factible para el diagnóstico de debilidad muscular en EPOC, presentando relación directa con el test MT6<sup>(41)</sup>. El estudio de Graetz y cols., donde analizan la  $P_{im\acute{a}x}$  en pre y post operatorio en sujetos con cirugía miocárdica concluye que la  $P_{im\acute{a}x}$  se reduce de sobremanera en el postoperatorio, siendo necesario el reentrenamiento tanto en pre como post-operatorio.<sup>(42)</sup> El trabajo de Cader y cols., en donde se estudió el entrenamiento muscular para el aumento de la fuerza muscular respiratoria en sujetos con posibles destetes, y donde fue indispensable la estimación de la  $P_{im\acute{a}x}$  tanto antes como después del entrenamiento muscular respiratorio.<sup>(43)</sup> Estos trabajos demuestran que estimar la  $P_{im\acute{a}x}$  es un buen parámetro en la planificación de entrenamiento y ejercicio muscular respiratorio, debido a su relación directa entre presión negativa máxima y la fuerza realizada por la musculatura respiratoria, específicamente el diafragma.

El medir la  $P_{im\acute{a}x}$  es una prueba adecuada para la evaluación de la fuerza muscular respiratoria. La estimación de la  $P_{im\acute{a}x}$  es, de forma similar con la *espirometría*, un procedimiento que cuenta con estudios en los cuales se estandariza su realización. El trabajo de Wen y cols., se centra en el análisis de la cantidad de maniobras a realizar para obtener la máxima  $P_{im\acute{a}x}$  en el sujeto evaluado, llegando a conclusiones en donde son necesarias hasta más de 10 maniobras por sujeto.<sup>(44)</sup> Otros estudios actuales centran sus investigaciones en el uso de la  $P_{im\acute{a}x}$  con la finalidad de realizar una mayor exigencia en la musculatura, por ende una ejercitación de la musculatura respiratoria, esto utilizando una válvula de carga incremental, la cual asemeja un aumento de la presión, que produce un aumento de la actividad muscular.<sup>(45)</sup> Otro asunto importante de los

trabajos relacionados a la  $P_{imáx}$ , es que demuestran el efecto de la disminución de la  $P_{imáx}$  frente a una intervención quirúrgica, por lo tanto una disminución de la fuerza muscular y de la función respiratoria.<sup>(46)</sup>

#### 4. Electromiografía

Hace más de 60 años que se utiliza la técnica de electromiografía (EMG). Dicha técnica ha llegado a convertirse en una herramienta confiable a la hora de medir el potencial eléctrico, proporcionando una gran ayuda e influencia tanto en la práctica clínica como en trabajos de investigación cinesiológicos. El potencial eléctrico antes aludido es generado por los músculos al contraerse, esta contracción es generada a su vez por una unidad motora, la cual, está formada por la unión entre una motoneurona y sus fibras musculares correspondientes, por lo que dependiendo de la cantidad de fibras musculares se determina la capacidad de fuerza y movimientos finos que puede realizar un músculo.<sup>(47,48,49)</sup> Cabe destacar que el potencial eléctrico es detectado en la superficie de la piel gracias a la presencia de receptores (agujas o electrodos) diseñados con ese fin.

La utilización de esta herramienta permite evaluar y medir una gran cantidad de patologías neuropáticas y miopáticas, siendo mayoritariamente estudiadas las radiculopatías, plexopatías, mononeuropatías y polineuropatías.<sup>(50)</sup>

Existen dos tipos de EMG: EMG de agujas y EMG superficial (EMGs). La primera, implica la utilización de agujas que se insertan en el vientre muscular constituyendo un método invasivo y complejo de realizar, a diferencia de la segunda que se caracteriza por ser un método no invasivo, pues se utilizan electrodos superficiales que se adhieren sobre la piel.

Ambos métodos poseen sus inconvenientes, como por ejemplo, la interferencia que se genera al interior del músculo cuando este realiza un movimiento por una contracción, tal es el caso del método con agujas o la interferencia que ofrece la piel al pasar la corriente a través de esta al utilizar electrodos superficiales (impedancia natural). En el caso de la electromiografía superficial los inconvenientes se disminuyen realizando una técnica propicia al realizar los registros para así disminuir una posible alteración que puede llegar a producirse por diversos factores, como por ejemplo, la impedancia natural de la piel. Una vez lograda esta técnica se sabe que la EMGs es más reproducible.<sup>(51,52,53)</sup>

Una de las grandes diferencias que tienen estas dos técnicas es que la EMGs es utilizada para grandes grupos musculares, mientras que, la EMG con aguja apunta a grupos musculares pequeños.<sup>(53)</sup>

Las grandes ventajas de la EMGs son una amplia reproducibilidad y la gran facilidad con la que se puede medir la musculatura, debido a esto se puede llegar a abusar de esta técnica obteniendo mediciones erradas. Para evitar estos fallas se actúa sobre las variables que afectan a la señal electromiográfica.

Los factores que modifican las características de la señal deben ser meticulosamente tratados para lograr una buena fiabilidad y así lograr datos realmente representativos. Se ha demostrado que en diferentes enfermedades se obtiene una sensibilidad de entre un 70-82% y una especificidad de incluso un 90 a 98% .<sup>(53,54)</sup>

Se sabe que en las tomas electromiográficas de los músculos respiratorios, los ruidos contaminantes más importantes son los artefactos de movimientos y sobre todo la interferencia electromagnética generada por el corazón.<sup>(55)</sup>

En una revisión bibliográfica realizada por Hawkes y cols. se muestran los factores que pueden modificar las características de la señal dividiéndose en cuatro niveles diferente, los cuales, fueron clasificados acorde al nivel de influencia que tienen en la señal. El primero es el nivel técnico el cual está conformado las condiciones ambientales como temperatura, humedad, campo electromagnético, especificaciones técnicas del electromiógrafo, etc; El segundo nivel es el experimental, este nivel consta del procedimiento durante la medición como la preparación y colocación de los electrodos, tipo de contracción o ejercicio, etc.; El tercer nivel es el descriptivo en este se encasilla el procesamiento de señales, características y parámetros de las señales; En el último y cuarto nivel encontramos el nivel fisiológico en donde se ven las características fisiológicas o funcionales del sistema muscular como el diámetro de la fibra, unidad motora, etc.<sup>(5)</sup>

Otra manera de dividir los factores es el realizado por De Luca quien divide los factores que alteran la señal EMG en tres grandes grupos (ver Anexo 10). Los factores causantes, los cuales tienen un efecto básico o elemental sobre la señal, este lo divide entre los factores externos e internos, los externos corresponden a la colocación de electrodos y los internos son básicamente los componentes fisiológicos, anatómicos y biomecánicos del músculo, el segundo grupo son los factores intermediario, el cual está compuesto por los fenómenos que influyen los factores causantes y por último los factores determinantes, los cuales son los que tienen una relación directa a la toma de la señal y la información que entrega la EMG.<sup>(52)</sup>

Las variables estudiadas en la EMG son en el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia, en el caso del dominio del tiempo es utilizada para determinar e identificar fatiga muscular a partir de las frecuencias recogidas por el electromiógrafo.<sup>(52)</sup>

Debido a que en este estudio no se medirá fatiga ni se llevará a la fatiga los músculos estudiados, esta variable queda fuera siendo utilizada solamente el dominio del tiempo, el cual es representado como la amplitud de onda que genera el músculo a la hora de realizar una contracción, la que es realizada por la actividad de la unidad motora y se ve representada como espigas en una tabla donde las variables son voltaje (mV) y tiempo (s) (ver anexo 11), estos potenciales de acción pueden actuar a la vez lo que aumentaría el tamaño de la espiga o de forma asincrónica lo cual aumentaría la densidad de la señal. Estos sucesos mostrarán una mayor cantidad de torque lo que se podría denominar como fuerza. Pero esto no sería totalmente correcto ya que la EMGs es una técnica multifactorial, por lo tanto no sería confiable que la señal concuerde completamente con la actividad muscular debido a factores que no se saben y no se pueden controlar.<sup>(52)</sup> Debido a que estos factores como velocidad, longitud de fibra, etc. es que no se puede asumir que la fuerza sea relacionada a la cantidad de unidades motoras que se contraen<sup>(48)</sup>, es por esto que la relación de EMG y fuerza no se ha podido llegar a un acuerdo ya que muchos estudios han llegado a conclusiones contrarias ya sea de una relación lineal y no lineal.<sup>(49)</sup>

El uso de la electromiografía en entrenamientos musculares respiratorios se ha usado con diferentes propósitos. En un estudio con veintidós sujetos sanos se observó que a un trabajo con cargas aleatorias entre 10% a 50%, comparando el diafragma con los músculos intercostales, la eficiencia del diafragma se mantiene constante, no así los intercostales, la cual disminuye al alcanzar un porcentaje del 40% al 50% del  $P_{im\acute{a}x}$ .<sup>(14)</sup>

Otro trabajo interesante es el de Hawkes el cual realiza en doce sujetos un trabajo de dos series de 30 esfuerzos respiratorios a una carga del 40% de la  $P_{im\acute{a}x}$  seguidos luego de un descanso de 15 minutos, el que constata que luego de 15 min desde que fue



realizado el ejercicio aún sigue habiendo actividad eléctrica aumentada en los músculos intercostales y diafragma<sup>(57)</sup>. En la segunda ronda de ejercicios realizada en la investigación de Hawkes el diafragma disminuye su actividad aumentando la de los intercostales, esto se puede deber a que se prioriza la "utilización de los recursos (en este caso los músculos accesorios) y la prolongación del tiempo de uso", por esto es fundamental ver lo que ocurre con los músculos Esternocleidomastoideos y Escalenos los cuales no fueron medidos en su estudio<sup>(57)</sup>, e incluso podría ser la causa de que los intercostales baje su eficiencia mayormente a la del diafragma.<sup>(14)</sup>

De Andrade muestra en su estudio mediante la comparación de siete sujetos sanos con siete pacientes con EPOC que al igual que Hawkes, luego de un entrenamiento o una carga corta se ve actividad muscular, pero en este caso en los pacientes con EPOC se ve una alta actividad a diferencia de los sujetos sanos, donde la actividad se redujo en un 12%.<sup>(5)</sup> A esto se suma los datos entregados por el esternocleidomastoideo, el cual al igual que el diafragma no muestra una disminución en la post-carga en comparación con el periodo de carga, pero en sujetos sanos si se ve una disminución del 10%.<sup>(5)</sup>

De Andrade también observó que en los pacientes con EPOC el esternocleidomastoideo era el principal músculo en ejercer fuerza a diferencia de los ancianos sanos, en los cuales se distinguió que utilizaban más el músculo diafragma; se comprobará si esto ocurre en los sujetos jóvenes al igual que en adultos mayores<sup>(5)</sup>, aparte de medir tanto los músculos utilizados por Hawkes como los de De Andrade.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

La investigación es un estudio piloto de tipo descriptivo, transversal.

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Andrés Bello, localizada en la ciudad de Santiago, en la sede ubicada en la comuna de Las condes.

Los criterios de inclusión comprendieron hombres y mujeres, sanos. Todos, estudiantes de la carrera de Kinesiología de la Universidad Andrés Bello y en rango etario de 18 a 25 años ya que es en este grupo se concentra el peak de valores espirométricos, VO<sub>2</sub>, además de ser el mayor porcentaje de población chilena disponible.

Los criterios de exclusión incluyeron fumadores, deportistas de alto rendimiento, un IMC <18,5 y > 24,9, un  $P_{\text{imáx}} < 115 \pm 27$  cm de H<sub>2</sub>O en hombres, y un 25% menos que el mínimo del hombre (66 cm de H<sub>2</sub>O) en mujeres, alteraciones estructurales de la caja torácica, embarazadas, cuadros respiratorios agudos y consumidores regulares de drogas, como por ejemplo marihuana al ser esta la droga ilegal más consumida, debido a que según estudios<sup>(58)</sup> los consumidores de esta droga tienen una mayor posibilidad de generar enfisemas pulmonares, así como también se asocia a la bronquitis, disnea, faringitis, empeoramiento de los síntomas del asma al igual que de la fibrosis quística y opresión en el pecho.<sup>(59)</sup>

Para recabar la información y escoger los sujetos participantes se aplicó una pauta de cotejo conformada por preguntas cerradas ( Sí o NO) (ver anexo 12), una vez aplicada, se realizó la selección de 60 individuos, quienes conformaron la muestra de estudio.

### 1.1. Diseño del Estudio

Previo al procedimiento los sujetos fueron informados por medio de un consentimiento escrito detallado en qué consistía la investigación, todos los riesgos y utilización de la información posterior a la medición (ver anexo 13), también, fueron registrados masa corporal, talla, signos vitales (presión arterial, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca , temperatura y saturación de oxígeno) de cada sujeto. Posteriormente, los sujetos fueron preparados para la medición de electromiografía de superficie y capacidad vital lenta, utilizando simultáneamente una válvula umbral.

Los sujetos acudieron con ropa adecuada para la medición (short y torso desnudo en el caso de los hombres, calzas y peto en el caso de las mujeres) (ver anexo 14). Se situaron una posición sedente erguido en una silla con respaldo, apoya brazos y sin ruedas, apoyando su espalda en el respaldo de la silla, sin cruzar las piernas, descalzos y con los pies apoyados en el suelo (ver anexo 15).

### 1.2. Recolección de Datos

#### 1.2.1. Función Pulmonar

La espirometría se realizó según el protocolo de la American Thoracic Society and European Respiratory Society, y los valores de referencia utilizados fueron los de Knudson. El espirómetro utilizado es el modelo CPFS/D USB™ Medgraphics spirometer (MGC Diagnostics) (ver anexo 16), este instrumento funciona registrando dentro de un rango de flujo  $\pm 18$  l/s, posee una resolución de 8,64 ml/seg, una

precisión de  $\pm 3\%$  ó 50 ml, un espacio muerto de 39 ml y una resistencia  $<1,20$  cm H<sub>2</sub>O/l/s a 12 l/s. Se alimenta eléctricamente por medio del puerto USB.

El lugar donde se realiza la prueba debe ser cómodo, de aproximadamente 2,5mts x 3mts, con espacio suficiente para el desplazamiento tanto del evaluador, como del sujeto a evaluar, una camilla para posible emergencias, un mueble o estante donde disponer de los elementos necesarios como las pinzas nasales y la mesa donde estará el espirómetro y el computador del evaluador para poder realizar la medición.<sup>(9,33)</sup>

Un elemento importante en el procedimiento espirométrico, es la silla en donde se ubicará el sujeto a evaluar. Esta debe ser cómoda, contar con apoyabrazos y respaldo, no debe tener ruedas de desplazamiento y debe ser regulable en altura, lo suficiente como para que el sujeto apoye por completo ambos pies en el suelo.<sup>(16,24, 33)</sup>

La mantención y calibración se realizó cada día de medición. Mientras que la limpieza e higiene fue realizada antes y después de cada evaluación.

El procedimiento de la técnica de espirometría lenta, constó de la preparación del paciente y el procedimiento en sí. La preparación del sujeto fue explicada por el evaluador y se le preguntó por la retirada de fármacos y por posibles contraindicaciones presentes. Una vez ubicado y colocada la pinza nasal se le indicó el posicionamiento de la boquilla o neumotacógrafo y se le indicó el procedimiento a seguir.<sup>(9,30,38,39)</sup> El evaluador debió indagar que no existieran fugas de aire que alterarán la medición; se pidió al sujeto que inspirara y espirara normalmente por la boquilla, o sea a Volumen Corriente (VC), durante 4 ciclos respiratorios, observando que los ciclos sean estables; luego de esto se le solicitó una espiración máxima hasta Volumen Residual (VR) y luego que inspirara hasta su Capacidad Pulmonar Total

(CPT), obviando la terminología técnica y siendo lo más comprensible posible.<sup>(30,39,40)</sup>

### Criterios de aceptabilidad y reproducibilidad

Dentro de los criterios de reproducibilidad y aceptabilidad tenemos que se hayan realizado un mínimo de 3 repeticiones, que el inicio sea rápido y sin vacilaciones, que se encuentre libre de artefactos como la tos, el cierre precoz de la glotis, un buen inicio y que tenga una duración mínima de 6 segundos o por lo menos un plateau.<sup>(9,38)</sup>

La evaluación de la musculatura inspiratoria se hizo por medio de Presión inspiratoria máxima ( $P_{im\acute{a}x}$ ), y se utilizó el modelo de válvula umbral Threshold IMT®, la cual fue adaptada y unida al espirómetro utilizado.

Para la medición de la  $P_{im\acute{a}x}$  los sujetos deben estar en sedente, utilizar pinza nasal, rodear la boquilla con sus labios sin morderla y evitar fugas de aire por los costados de la boca, deben partir desde volumen residual, mantener la presión máxima unos segundos y no debe existir una variación mayor al 20%.

#### 1.2.2. Electromiografía de Superficie

La electromiografía se realizó según la International Society of Electrophysiology and Kinesiology, los parámetros registrados fueron amplitud de activación muscular.

El electromiógrafo utilizado fue el modelo DELSYS Bagnoli™16 EMG System (ver anexo 17), el cual, consta de un amplificador de señal principal de 16 canales, subdividido en dos grupos de 8 canales, por los cuales ingresa la señal eléctrica, siendo modulada hacia una señal análoga, con un rango de señal de entre 20 Hz a 450 Hz, la

cual es dirigida hacia el canal de salida a través del conector de alta densidad HD68. A su vez, la señal eléctrica es capturada gracias al sensor de superficie diferencial individual, el cual es posicionado superficialmente sobre el músculo a analizar. El sensor es adherido a la piel sobre el músculo, gracias a un adhesivo doble faz no conductor, el cual deja en contacto directo los dos receptores.

El sensor es de forma rectangular, con un área de detección de 10 mm<sup>2</sup> y una superficie de contacto compuesta por un 99,9% de plata (ver anexo 18).

La posición de los electrodos para grabar la actividad proveniente del diafragma y de los intercostales fueron, dos electrodos anteriores bilateralmente al margen costal y en la línea de los pezones, se colocaron dos electrodos posteriores a la misma altura con tal de registrar el diafragma y para los intercostales se colocaron electrodos en el lado derecho e izquierdo en el segundo espacio intercostal.<sup>(55)</sup>

La localización de electrodos para los músculos esternocleidomastoideos estuvo ubicada en la parte inferior de estos, a razón de 1/3 desde la escotadura yugular al proceso mastoideo.<sup>(56)</sup> Y por último se colocó un electrodo común o tierra en el dorso de la mano derecha.

La posición de los electrodos para el diafragma fue implementada anteriormente por una amplia cantidad de profesionales <sup>(14,15,55)</sup> y posteriormente validada por Demoule et al, a través de una estimulación magnética transcraneal,<sup>(16)</sup> estos electrodos fueron situados en el 7° o 8° espacio intercostal a nivel de la línea medio clavicular para el músculo diafragma (ver anexo 19).

Previo a la localización de los electrodos, la piel de los sujetos fue preparada rasurando los vellos de ser necesario, además, de pasar una esponja abrasiva con el fin de remover la capa más superficial de la piel llamada estrato corneo y limpiándola con

alcohol con el objetivo de reducir la impedancia.

Por último, para el procesamiento y análisis de la señal se utilizó el Software llamado Matlab. El método realizado partió desde la señal en bruto, la cual es centrada para después pasarla por un análisis de componentes independientes (ICA:Independent components analysis) el cual busca eliminar los ruidos de la señal para solamente dejar los datos electromiográficos provenientes del músculo objetivo, esto lo logra separando las fuentes lineales mixtas utilizando un algoritmo, este funciona primero blanqueando la señal, lo que busca eliminar cualquier correlación en los datos, una vez hecho esto para ICA solo queda girar los datos que se encuentran en la nube de puntos, ya que en este momento los puntos del plano que estén diagonales serán iguales. Luego lo que ICA hace es girar nuevamente el plano para disminuir la forma gaussiana de los datos y por lo tanto ICA es capaz de recuperar las fuentes originales que son estadísticamente independientes( propiedad desde el teorema del limite central), posterior a esto se realiza una representación del espectro positivo de la señal con lo que se invierten los valores negativos quedando solo en el espectro positivo. A estos valores se les aplica una RMS (Raíz cuadrada media) la cual eleva al cuadrado cada valor de la señal, crea un promedio y luego calcula la raíz cuadrada y con esto se busca determinar el comienzo de la activación muscular mediante un umbral. Finalmente se realiza el suavizado de la señal el cual tiene como objetivo nivelar los picos de la señal.

Posterior a esto se realiza un corte de la señal en el momento de que se produzca la capacidad vital lenta, esta es resampleada y se promedian las señales por músculo, por último las señales se normalizan en el eje x y el eje y dando un porcentaje como coeficiente relativo. Este coeficiente corresponde a la estandarización del valor basal de cada sujeto, considerado como un 100%. De este modo, el valor basal electromiográfico de todos los sujetos corresponde a un 100% y así, relacionar el incremento de la actividad muscular como un aumento superior al 100%.

### 1.2.3. Carga Inspiratoria

Para la aplicación de la carga incremental se utilizó una válvula umbral de entrenamiento muscular respiratorio, este dispositivo de entrenamiento a cargas umbral dependiente de presión negativa, con la finalidad de potenciar la fuerza muscular, independiente de la velocidad con la que el sujeto respira. La presión negativa, en cm de H<sub>2</sub>O, se encuentra en rangos de entre -7 cm H<sub>2</sub>O y -45 cm H<sub>2</sub>O, y en su interior consta de un resorte que, al ser provisto de una presión a causa del giro del regulador, el paso del aire inspirado se restringe, siendo necesaria una mayor presión para que este pase a través de la válvula hacia el sistema respiratorio del sujeto.

Antes de realizar el protocolo de carga incremental con el dispositivo umbral se realizó un registro basal para determinar la presión inspiratoria máxima para cada sujeto. El sujeto inició a nivel de la capacidad residual funcional, rodeando la boquilla fuertemente con sus labios. Luego de algunas respiraciones a volumen corriente, los sujetos que habían sido instruidos previamente realizaron un esfuerzo inspiratorio máximo. Esta maniobra se realizó a lo menos tres veces, hasta alcanzar los tres registros reproducibles con una variación menor al 10%. Los sujetos realizaron la maniobra en sedente y con una pinza-clip en la nariz.

El protocolo de carga inspiratoria incremental se realizó posterior a la definición de la presión inspiratoria máxima para cada sujeto y su valor se utilizó de referencia para proporcionar las cargas en forma incremental, partiendo desde el 0% hasta el 50% subiendo un 10% cada 5 minutos, este porcentaje fue extrapolado a una cifra del dispositivo de carga umbral expresada en centímetros de agua. Previo a los registros, la



válvula fue adaptada y unida al neumotacógrafo del espirómetro, con el fin de aplicar la carga de trabajo mientras se realizaba la maniobra espirométrica.

## **RESULTADOS**

Durante las fases posteriores a la realización de las mediciones espirométricas y electromiográficas, se inició el proceso de la recolección de los datos obtenidos y su análisis detallado. Es en este punto donde se detectó un error de procedimiento, específicamente en la fase de guardado de registros espirométricos, lo cual provocó la pérdida de 18 mediciones. En base a esto que se decide discutir como equipo, si ante este evento se vería perjudicada la continuidad del estudio, realizando solo el análisis de las mediciones y registros que se encontraban guardados de manera correcta.

El error específicamente se centró en el almacenado posterior a las mediciones, las cuales fueron realizadas correctamente. Espirometría y electromiografía fueron registradas en su totalidad, sin errores de procedimiento, incluyendo mediciones basales y las realizadas con carga incremental. Las señales electromiográficas se encontraron almacenadas sin error, mientras que 18 muestras espirométricas se vieron extraviadas ante un error en el almacenamiento, detalladamente en los registros de los porcentajes de algunos sujetos, los cuales se encontraron solo hasta su 20% de  $P_{imáx}$ , siendo que realizaron mediciones como mínimo hasta un 37%.

Ante este evento, se decidió continuar con el análisis de los registros recolectados, los cuales suman un total de 13 mediciones correctamente procesadas y guardadas. Estas se encontraban con todos los pasos realizados correctamente, de acuerdo a los protocolos previamente descritos, tanto espirométricos, como electromiográficos; específicamente

el posicionamiento de electrodos, medición electromiográfica, posicionamiento de los sujetos, procedimiento de espirometría, cargas inspiratorias acordes a los porcentajes de incremento, en relación a la  $P_{\text{imáx}}$  basal y su posterior almacenamiento.

Frente a esto, quedó en evidencia que nuestros sujetos de muestra descendieron numéricamente de manera notoria, de los 31 sujetos iniciales, hasta los 13 sujetos. Se discutió detalladamente entre los miembros del equipo de este estudio, llegando a la conclusión de que, a pesar del descenso del número de sujetos, este evento no afectaría de sobremanera a los resultados finales, esto debido a que, a pesar de la pérdida de los registros espirométricos, sí se encontraron los registros electromiográficos. Estos últimos se analizaron en su totalidad, comparándolos con los registros que se encontraban en perfecto estado, tanto electromiográfica como espirométricamente, evidenciando que las variaciones electromiográficas son mínimas, por lo cual se pudo concluir que los registros espirométricos no debieron sufrir variaciones significativas entre sí.

Un total de 31 sujetos participaron en el estudio, de los cuales, 13 fueron incluidos finalmente dentro del análisis de datos consecuencia del motivo anteriormente expuesto. Del total de 13 sujetos mencionados, 3 de ellos llegaron hasta una carga incremental máxima de 30% de la  $P_{\text{imáx}}$ , mientras que 9 a una carga del 40% y tan solo un sujeto a una carga del 50%.

Del total de 13 sujetos, 3 de ellos llegaron hasta una carga incremental máxima de 30% de su  $P_{\text{imáx}}$  basal, mientras que 9 a una carga del 40% de su  $P_{\text{imáx}}$  basal. Por ultimo tan solo un sujeto llegó a realizar una carga del 50% de su  $P_{\text{imáx}}$  basal.

Los valores antropométricos de los sujetos de estudio que participaron en la investigación, se reflejan en la Tabla 1, en la cual se expresan el promedio y la desviación estándar de esta.

Tabla 1: Valores antropométricos de los sujetos

Variable	promedio y desviación estándar
Peso (Kg)	67,33846154 ± 4,715142002
Estatura (Mts)	1,698461538 ± 0,055354336
IMC (Kg/Mts <sup>2</sup> )	23,35923077 ± 1,448422339

*En la tabla 1 se muestra las medidas antropométrica de los sujetos.*

Del total de estos, en promedio se presentó un peso de 67,33 Kilogramos, con una desviación estándar de  $\pm 4,71$  Kilogramos, una estatura promedio de 1,69 metros, independiente del sexo de los sujetos. El IMC se promedió, dando 23,35.

Tabla 2: Signos vitales y valores de los sujetos

Variable	promedio y desviación estándar
Edad (años)	22,61538462 ± 1,32529629
% Predicho (%)	85,46153846 ± 15,79881528
P <sub>imáx</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	103,0769231 ± 25,486799
Frecuencia Cardíaca (Lpm)	71,3846158 ± 14,68864903
Saturación de O <sub>2</sub> (%)	97,23076923 ± 1,786703023
Presión Sistólica (mmHg)	119,6153846 ± 9,67417922
Presión Diastólica (mmHg)	83,07692308 ± 11,09400392

*En la tabla 2 se muestra los signos vitales y valores de importancia para el estudio.*

Además de los valores antropométricos, para el inicio del estudio se hizo indispensable el registro de otros valores, tales como signos vitales, P<sub>imáx</sub> basal y % del predicho con los valores de Knudson. Estos se ven reflejados en la tabla 2. Edad con promedio 22,6 años. El porcentaje de Capacidad lenta rondó en 85% del valor predicho, la P<sub>imáx</sub> basal el promedio fue de 103,07 cmH<sub>2</sub>O, frecuencia cardíaca de 71,3 latidos por minuto, la saturación de O<sub>2</sub> rondó los 97,2%. Por último la presión arterial fue, en promedio de 119,6/83,07.

### 1.1 Resultados Electromiograficos:

Los resultados de las electromiografías de los sujetos, al igual que los datos antropométricos y signos vitales, fueron normalizados, y ordenados en la Tabla 3. Se debe especificar que los valores son normalizados al basal para que este corresponda al 100% de activación. Los valores de carga incremental (10%, 20% y 30%), se ordenan con las activaciones por sobre el 100% de la normalización.

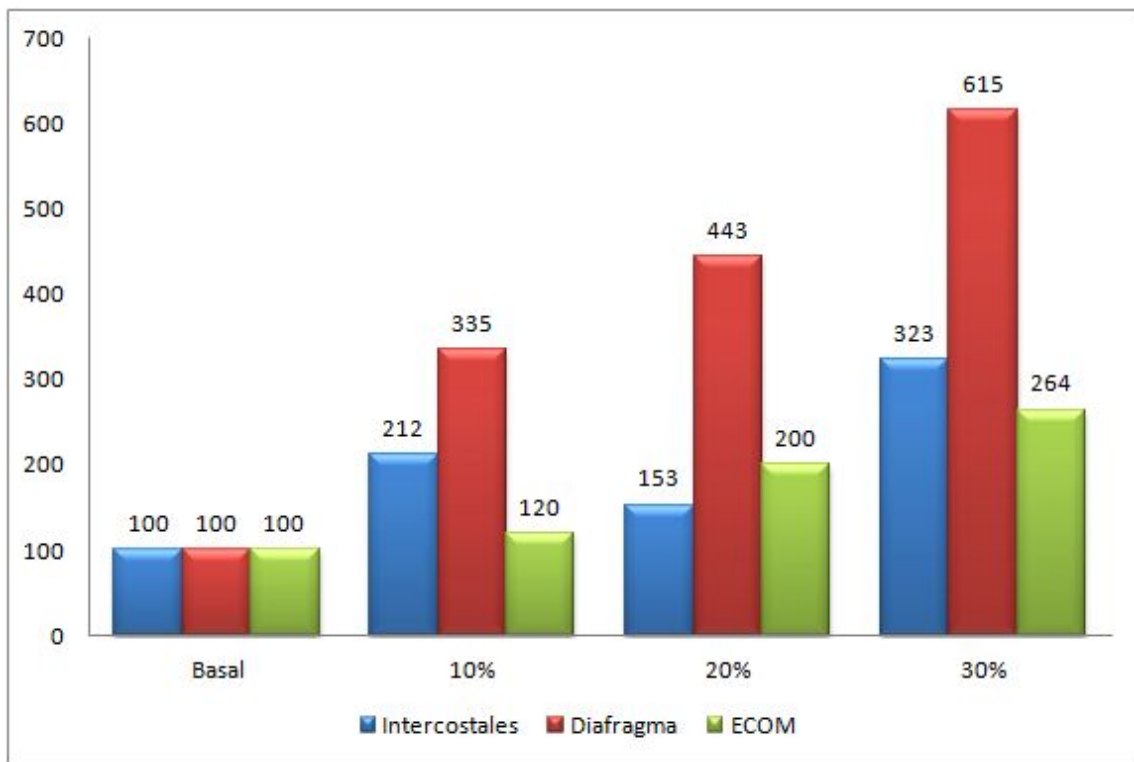
Tabla 3: Promedio por carga de sujetos que logran el 30% (Promedio y Desviación estándar)

Músculos	Basal	10%	20%	30%
Intercostales	100±0	212±13,22	153±15,62	323±39,05
Diafragma	100±0	335±15,62	443±21,93	615±36,05
ECOM	100±0	120±8,71	200±26,45	264±10,58

*La tabla 3 muestra el promedio y desviación estándar de la activación eléctrica de la musculatura inspiratoria para los sujetos que realizaron una carga incremental hasta el 30%. Tanto a nivel basal (normalizado al 100%) como al 10%, 20% y 30%.*

A su vez, los resultados promediados, tal como se ven en la tabla 3, fueron expresados en un gráfico, con la idea de analizarlos de mejor manera, tal como se expresa en el Grafico 1.

Gráfico 1. Porcentaje de activación muscular a diferentes cargas de los sujetos que alcanzaron el 30%



*El gráfico 1 muestra el promedio del incremento de la activación eléctrica en relación a la normalización basal, en sujetos con carga hasta el 30%.*

Con los sujetos que alcanzaron el 40% de su  $P_{\text{máx}}$ , se realizó de igual manera normalizado, promediado y ordenado para expresar los valores acorde a las cargas incrementales.

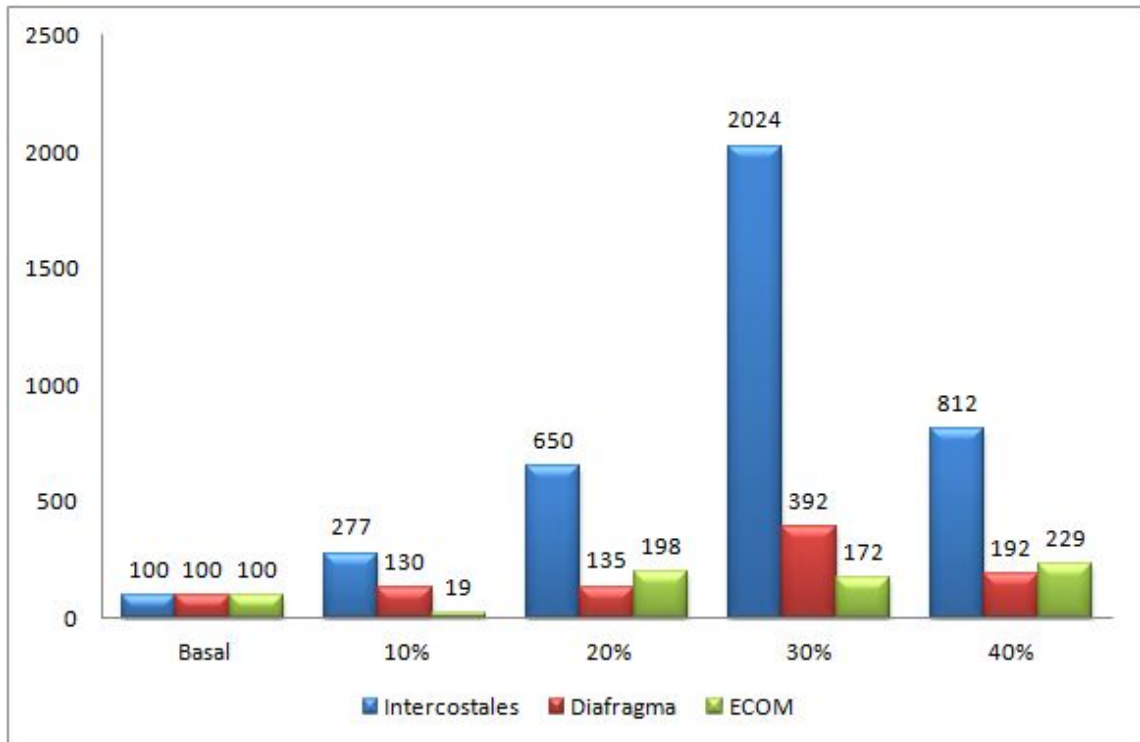
Tabla 4. Promedio y desviación estandar de los sujetos que logran el 40%, aplicado a cargas incrementales.

Músculos	Basal	10%	20%	30%	40%
Intercostales	100±0	277±7,14	650±5,95	2024±7,63	812±20,18
Diafragma	100±0	130±7,84	135±6,63	392±6,34	192±7,98
ECOM	100±0	19±5,4	198±12,78	172±6,12	229±25,5

*La tabla 4 muestra el promedio y desviación estándar de la activación eléctrica de la musculatura inspiratoria para los sujetos que realizaron una carga incremental hasta el 30%. Tanto a nivel basal (normalizado al 100%) como al 10%, 20%, 30% y 40%.*

De igual manera, la tabla 4, por motivos de estudio, se expresó en un gráfico, el cual corresponde al grafico 2.

Gráfico 2. Porcentaje de activación muscular a diferentes cargas de los sujetos que alcanzaron el 40%



*Gráfico 2 expresa el orden dado en la tabla 4, con las barras azules para la actividad eléctrica de intercostales, rojo del diafragma y verde para ECOM, organizadas con las cargas incrementales que alcanzaron.*

Por último los resultados electromiograficos para los sujetos al 50% de su  $P_{im\acute{a}x}$  basal, se organizan en la tabla 4.

Tabla 5. Promedio por carga para los sujetos que alcanzaron el 50% de su  $P_{im\acute{a}x}$  basal.

Músculos	Basal	10%	20%	30%	40%	50%
Intercostales	100	109	110	246	245	126
Diafragma	100	122	169	4167	253	489
ECOM	100	763	302	319	928	559

La tabla 5, al igual que las tablas 2 y 3, están organizadas en cuanto a las cargas incrementales.

Gráfico 3. Sujeto con carga umbral hasta el 50%

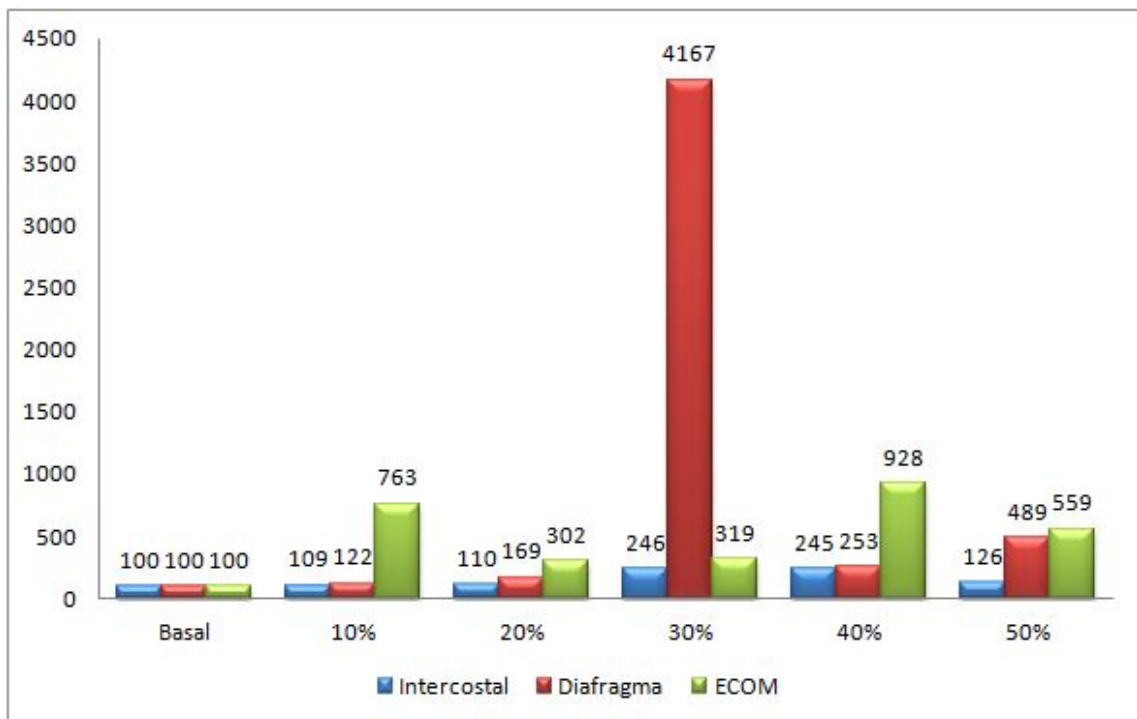


Grafico 3. Normalización de los resultados para los sujetos al 50% de su  $P_{im\acute{a}x}$  y sus valores para sus cargas incrementales.

Por último, en los resultados electromiograficos, se debe señalar que el valor expresado es en relación a la normalización (basal igual al 100%).

## 1.2 Resultados Pruebas Funcionales Respiratorias:

### 1.2.1 Pimáx y Carga umbral (% de Pimáx):

Inicialmente para las espirometrías se tomaron las  $P_{\text{imáx}}$  basales de los sujetos de estudio, con la finalidad de estandarizar las cargas incrementales (desde 10% hasta el 50%). Como se expresa en la tabla 6. En ella se aprecia que el promedio de  $P_{\text{imáx}}$  basal para los sujetos al 30%, es de 104 cmH<sub>2</sub>O, mientras que para los sujetos a 40% es de 107%. Se aprecia que los porcentajes (10% a 50%) van en relación al valor antes mencionado.

Tabla 6. Promedio de Pimáx por carga incremental (promedio y desviación estándar).

Carga alcanzada	Basal	10%	20%	30%	40%
30%	104±27,71	10,4±2,77	20,8±5,54	31,2±8,31	
40%	107,56±22,96	10,75±2,29	21,51±4,59	32,26±6,89	43,02±9,18

La tabla 7, muestra el orden de los sujetos dependiendo del Pimáx alcanzada y sus porcentajes de carga umbral. 3 sujetos alcanzaron con su Pimáx, el 30%, 6 de ellos alcanzaron el 40%. Mientras que solo uno alcanzó el 50%.

Tabla 7.1 Sujetos que alcanzaron el 30% de Pimáx alcanzado.

30% de Pimáx								
<b>3</b>	Pimax Basal	120	<b>4</b>	Pimax Basal	120	<b>6</b>	Pimax Basal	72
	10% Pimax	12		10% Pimax	12		10% Pimax	7,2
	20% Pimax	24		20% Pimax	24		20% Pimax	14,4
	30% Pimax	36		30% Pimax	36		30% Pimax	21,6
	40% Pimax	48		40% Pimax	48		40% Pimax	28,8
	50% Pimax	60		50% Pimax	60		50% Pimax	36



Tabla 7.2 Sujetos con 40% de  $P_{im\acute{a}x}$  alcanzado.

40% de $P_{im\acute{a}x}$								
<b>2</b>	Pimax Basal	100	<b>5</b>	Pimax Basal	50	<b>7</b>	Pimax Basal	120
	10% Pimax	10		10% Pimax	5		10% Pimax	12
	20% Pimax	20		20% Pimax	10		20% Pimax	24
	30% Pimax	30		30% Pimax	15		30% Pimax	36
	40% Pimax	40		40% Pimax	20		40% Pimax	48
	50% Pimax	50		50% Pimax	25		50% Pimax	60
<b>8</b>	Pimax Basal	103	<b>9</b>	Pimax Basal	120	<b>10</b>	Pimax Basal	120
	10% Pimax	10,3		10% Pimax	12		10% Pimax	12
	20% Pimax	20,6		20% Pimax	24		20% Pimax	24
	30% Pimax	30,9		30% Pimax	36		30% Pimax	36
	40% Pimax	41,2		40% Pimax	48		40% Pimax	48
	50% Pimax	51,5		50% Pimax	60		50% Pimax	60
<b>11</b>	Pimax Basal	115	<b>12</b>	Pimax Basal	120	<b>13</b>	Pimax Basal	120
	10% Pimax	11,5		10% Pimax	12		10% Pimax	12
	20% Pimax	23		20% Pimax	24		20% Pimax	24
	30% Pimax	34,5		30% Pimax	36		30% Pimax	36
	40% Pimax	46		40% Pimax	48		40% Pimax	48
	50% Pimax	57,5		50% Pimax	60		50% Pimax	60

Tabla 7.3 Sujeto con 50% de  $P_{im\acute{a}x}$  alcanzado.

50% de $P_{im\acute{a}x}$								
<b>1</b>	Pimax Basal	60						
	10% Pimax	6						
	20% Pimax	12						
	30% Pimax	18						
	40% Pimax	24						
	50% Pimax	30						

La tabla 7 muestra la clasificación de los sujetos de acuerdo al porcentaje de su  $P_{im\acute{a}x}$  basal alcanzada. 3 sujetos alcanzaron  $P_{im\acute{a}x}$  120 cmH<sub>2</sub>O, por lo cual sus porcentajes incrementales superaban el nivel máximo de la válvula IMT. 9 sujetos superaron al 40% el nivel máximo de la válvula, y solo un sujeto alcanzó a cubrir el 50% como carga incremental establecida en la investigación.

### 1.2.2 Espirometría:

Según los valores de Knudson, cada sujeto tenía un valor de CVL teórico (predicho). Al realizar la medición espirometrica, se obtuvo un valor el cual se calculó según su porcentaje del valor teórico (% del predicho). Las mediciones espirometricas aplicando carga umbral también expresaron % del predicho. La tabla 8 muestra lo mencionado anteriormente.

Tabla 8. CVL Teórico por sujeto con los % del predicho a cada carga incremental.

Sujeto	CVL Teórico	Carga umbral	CVL lograda	% del teórico	Sujeto	CVL Teórico	Carga umbral	CVL lograda	% del teórico
1	3,73	Basal	3,1	83	8	4,88	Basal	4,35	89
		10%	2,29	61			10%	4,4	90
		20%	2,32	62			20%	4,14	84
		30%	2,25	60			30%	2,42	49
		40%	2,7	73			40%	2,74	56
		50%	2,99	80			50%		
2	4,84	Basal	4,6	95	9	5,08	Basal	3,51	69
		10%	4,23	88			10%	3,91	77
		20%	4,56	94			20%	4,39	86
		30%	4,21	87			30%	3,2	63
		40%	4,29	89			40%	3,55	70
		50%					50%		
3	3,43	Basal	5,98	110	10	5,16	Basal	5,47	106
		10%	5,62	103			10%	5,71	111
		20%	5,62	103			20%	5,36	104
		30%	5,35	98			30%	5,19	101
		40%					40%	5,35	104
		50%					50%		
4	5,3	Basal	4,3	81	11	5,02	Basal	5,13	102
		10%	4,76	89			10%	4,66	93
		20%	4,65	87			20%	4,61	92
		30%	4,41	83			30%	4,24	84
		40%					40%	3,6	72
		50%					50%		
5	3,37	Basal	3	89	12	4,7	Basal	4,99	106
		10%	2,68	79			10%	4,84	102
		20%	1,88	56			20%	4,84	102
		30%	1,84	54			30%	4,87	103
		40%	1,42	42			40%	4,59	97
		50%					50%		
6	3,6	Basal	3,21	89	13	4,29	Basal	3,52	82
		10%	3,59	99			10%	3,87	90
		20%	3,18	88			20%	3,64	84
		30%	2,32	64			30%	3,52	82
		40%					40%	3,33	77
		50%					50%		
7	4,74	Basal	4,7	99					
		10%	476	100					
		20%	412	87					
		30%	4,25	89					
		40%	3,92	82					
		50%							

En la tabla 8 se muestra la Capacidad Vital Lenta teórica de acuerdo a los valores de Knudson, los valores espirométricos obtenidos con  $P_{imáx}$  basal, al 10%, 20%, 30%, 40% y al 50%, y su porcentaje del teórico alcanzado con la carga incremental ajustada a la válvula

Por último, los resultados espirométricos fueron promediados y calculado su desviación estándar, los cuales se ven reflejados en la tabla 9.

Tabla 9. Promedio del porcentaje teórico alcanzado por carga incremental (Promedio y desviación estándar)

Carga alcanzada	Basal	10%	20%	30%	40%
30%	93,33±14,97	97,00±7,21	92,66±8,96	81,66±17,03	
40%	93±12,18	83,22±29,86	87,66±13,98	79,11±19,49	76,55±19,48

En la tabla 9 se muestra el promedio de los porcentajes del teórico alcanzado, el cual fue de 93,33±14,97%, para el 30%, mientras que para el 40% fue de 93±12,18%. Los porcentajes teóricos relacionados a las mediciones con carga umbral también se expresan en la tabla.

## DISCUSIÓN

Inicialmente nos planteamos la correlación electromiográfica, es decir la actividad eléctrica muscular, con la espirometría tanto basal como con las cargas incrementales. De este modo, y como lo dice la evidencia estudiada, observar la supuesta actividad máxima del diafragma al 30%, y así validar el uso de este valor como herramienta terapéutica. En relación a nuestros objetivos, se logró identificar la amplitud máxima de la musculatura. Entregando este valor al 30% de la  $P_{imáx}$  basal de cada sujeto.

Primero debemos analizar el comportamiento de los resultados electromiográficos. Como se aprecia en la tabla 3 y grafico 1 en resultados, los sujetos que realizaron una carga incremental al 30% presentan una actividad principalmente diafragmática, siendo este músculo el que genera una mayor activación, con su peak de activación al 30% de la  $P_{\text{máx}}$  ( $615 \pm 36,05\%$ ). La musculatura accesoria, de igual manera incrementa su actividad, con su peak al 30%. Los intercostales disminuyen su actividad del 10% al 20% ( $212 \pm 13,22\%$  y  $153 \pm 15,62\%$ ), para tener su peak al 30% ( $323 \pm 39,05\%$ ). ECOM se comporta de manera incremental lineal, con su peak al 30% ( $264 \pm 10,58\%$ ).

La tabla 6 muestra, al igual que la tabla 3, la normalización y el promedio de la activación eléctrica para sujetos que alcanzaron el 40%. Se aprecia un predominio intercostal al 10% ( $277 \pm 7,14\%$ ) por sobre el diafragma ( $130 \pm 7,84\%$ ) y ECOM ( $19 \pm 5,4\%$ ). El predominio de intercostales es constante, al 20% ( $650 \pm 5,95\%$ ) por sobre diafragma y ECOM, ( $135 \pm 6,63\%$  y  $198 \pm 12,78\%$  respectivamente), para luego al 30% alcanzar una actividad desbordante, con un sorprendente  $2024 \pm 7,63\%$ , contra un  $392 \pm 6,34\%$  del diafragma y un  $172 \pm 6,12\%$  de ECOM. Ya al 40% la actividad eléctrica de los intercostales disminuye, pero continúa siendo mayor que los otros grupos musculares (inter  $812 \pm 20,18\%$ , diaf  $192 \pm 7,98\%$  y ECOM  $229 \pm 25,5\%$ ).

En el gráfico 2 se puede apreciar notoriamente la mayor actividad de los intercostales al 30% con un 2024% de su actividad a nivel basal. Se aprecia el incremento del diafragma al 30% (392%). Los ECOM se encuentran disminuidos al 30% con un 172% de su actividad, para incrementar al 40% con un 229% de su basal.

La tabla 5 y gráfico 3 muestran la normalización basal de la actividad eléctrica (100%) del único sujeto que realizó una carga incremental hasta el 50% de su  $P_{\text{máx}}$ . Se aprecia el predominio de los ECOM al 10% (763%), por sobre intercostales y diafragma

(109% y 122% respectivamente). Al 20% el ECOM sufre una disminución en su activación llegando al 302% de su basal, pero sigue predominando por sobre los otros grupos musculares. Es al 30% donde el diafragma experimenta el incremento más significativo de todas las mediciones, llegando a alcanzar un 4167% de su basal.

Ya al 40% los ECOM experimentan un incremento del 928%, superando a los demás músculos, ya que el diafragma experimenta un descenso significativo hasta llegar al 253%. El 50% intercostales están solo al 126% de su basal, mientras que diafragma se encuentra al 489%, y los ECOM llegando al 559%.

Los datos obtenidos se agruparon en 3 segmentos, cada uno de los cuales tuvo un comportamiento diferente. Los sujetos agrupados al 30% de su carga incremental presentan un patrón basal de predominio diafragmático, el cual, se ve reflejado durante todas las mediciones. A medida que se incrementan las cargas inspiratorias, se inicia la actividad de musculatura accesorio, a un 10% se aprecia un aumento de los intercostales, a un 20% se suma a la acción de los intercostales la activación del músculo esternocleidomastoideo, y ya al 30% se aprecia una activación diafragmática de gran calibre, acompañado de menor manera de la musculatura accesorio, esto debido a que al 30% el diafragma logra su mayor actividad y mueve entre el 60% a 70% del volumen tidal por sí solo, por lo que no es necesaria la activación excesiva de los músculos accesorios. (5)

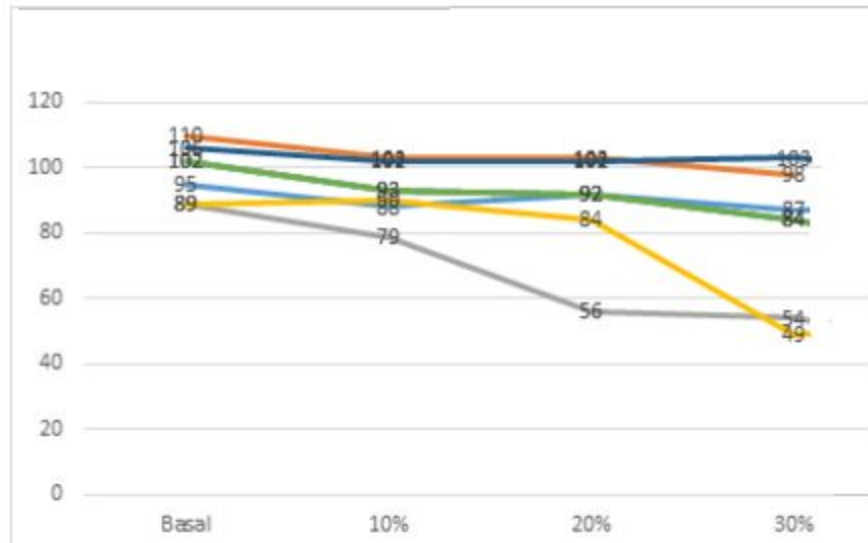
El grupo que alcanzó solo a realizar el 40% de su carga incremental, presenta un patrón respiratorio a nivel basal con predominio en la actividad de intercostales, reflejado en todo el procedimiento de mediciones esto debido a la debilidad diafragmática y a la compensación de la musculatura accesorio. (11) A medida que se inicia el incremento del porcentaje de cargas, se aprecia un constante predominio de

intercostales, con leves aumentos del diafragma. Al 20% se aprecia un notorio aumento en la actividad intercostal, apareciendo de gran manera el esternocleidomastoideo y con poca actividad del diafragma. Ya llegando al 30% de la carga incremental se puede apreciar un importante aumento del reclutamiento de intercostales; y, al igual que el grupo del 30%, el diafragma refleja su máxima actividad eléctrica, pero superado completamente por los intercostales, esto debido, como se mencionaba anteriormente a la estrategia compensatoria de la musculatura accesorio. Ya al 40% se puede apreciar una disminución evidente de la actividad muscular.

El sujeto que realizó las mediciones hasta el 50% presenta un patrón muscular de tipo accesorio predominante de ECOM. A medida que se inicia el aumento de cargas, el esternocleidomastoideo tiene una actividad eléctrica de gran aumento, sobrepasando por completo a la demás musculatura. Al 10% este se activa a grandes niveles, al 20% disminuye su actividad, pero continúa superando a los otros muscular. Ya al 30%, y ya como en todos los sujetos, el diafragma realiza su actividad máxima, presentando un incremento increíblemente alto. Par ya llegar al 40% con una disminución de la actividad eléctrica del diafragma y un aumento del ECOM. Por último al 50% el diafragma sufre un aumento de su actividad y el esternocleidomastoideo disminuye pero continúa siendo el músculo principal en su activación.

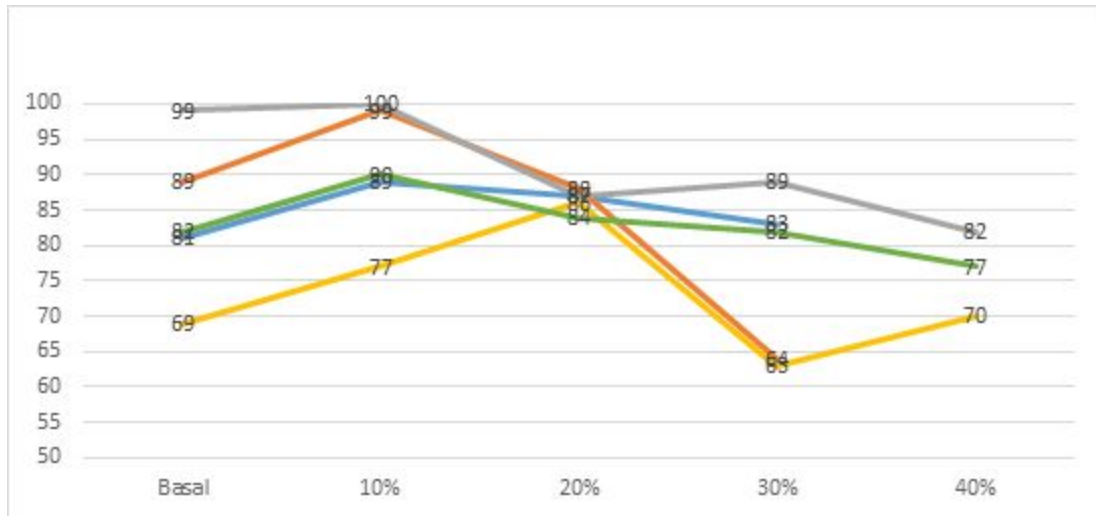
En general, la mayoría del grupo del 30% tuvo un comportamiento casi lineal, con leves variaciones del porcentaje del predicho. Esto se podría relacionar, tal como o dice la evidencia a una actividad inspiratoria de calidad, o en buen estado (22). Queda en mejor evidencia el comportamiento en el gráfico 4.

Gráfico 4. Comportamiento de los valores teóricos con los % del predicho.



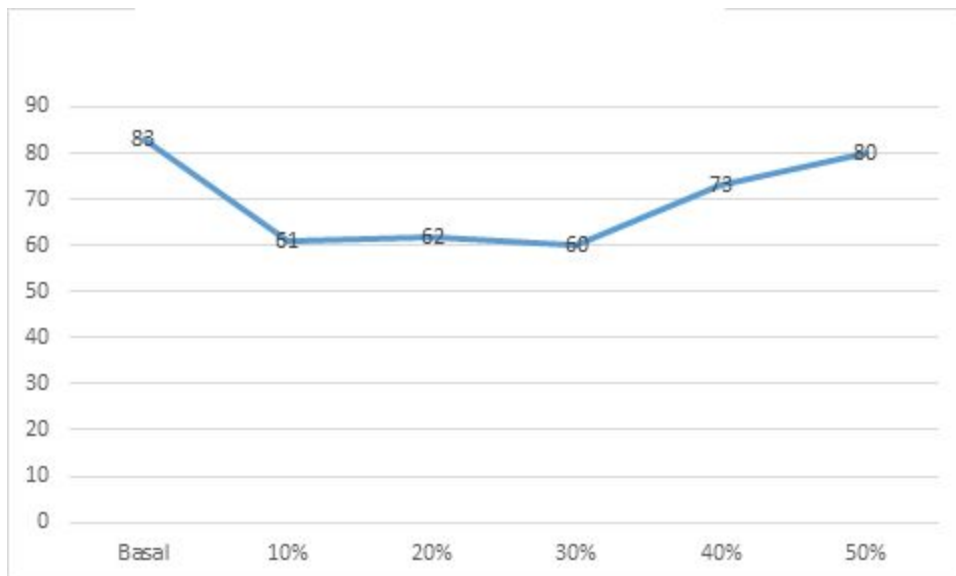
El grupo del 40% tuvo un comportamiento con un incremento del predicho al aplicar una carga del 10%. Para luego sufrir una disminución considerable en los valores porcentuales del valor teórico predicho, esto se puede relacionar con la escasa activación del diafragma a nivel basal, el cual se activa al recibir una carga leve (10%), para luego sufrir un declive en su actividad por su posible escaso uso, no tolerando cargas mas elevadas (20%, 30% 40%). esto se ve reflejado en el grafico 5.

Gráfico 5. Comportamiento de los valores teóricos con los % del predicho.



El sujeto del 50%, como se mencionó previamente, se comportó de forma aislada, tal como lo refleja el gráfico 6. Se puede interpretar su comportamiento como una respuesta débil a las cargas incrementales, con un aumento a cargas finales, por posibles respuestas aun feedback de información.

Gráfico 6. patrón descendente-ascendente del teórico y % del predicho.





Por último, de las espirometría, se puede discutir el comportamiento de todos los sujetos de la muestra al aplicarles las cargas incrementales y analizar cada carga por separado. El comportamiento de los sujetos al 10% de la carga incremental fue más bien parejo tanto en el incremento, como en el descenso del predicho, ya que, a medida que se aplicaron las cargas incrementales, se observaron disminuciones del porcentaje del predicho. Así, al 20% de la carga incremental, sólo 3 sujetos lograron un incremento del predicho inicial, mientras que los demás solo lograron disminuciones, al 30% se presentó una disminución del predicho y 2 sujetos realizaron un incremento. Por último en la carga del 40% prácticamente todos los sujetos presentaron una disminución del porcentaje del predicho.

#### 1.1 Relación resultados Electromiografía-Espirometría:

El análisis de los resultados electromiográficos, con los espirométricos se realizó en base a los promedios electromiográficos de todos los sujetos durante las cargas incrementales y los promedios de los porcentajes del predicho de cada sujeto en cada una de las cargas incrementales.

Esta correlación se hizo en un gráfico tanto para los sujetos que llegaron al 30%, otro para los sujetos que llegaron al 40%, y por último, un gráfico para el sujeto que llegó al 50%. Este último se analizará con más detalles.

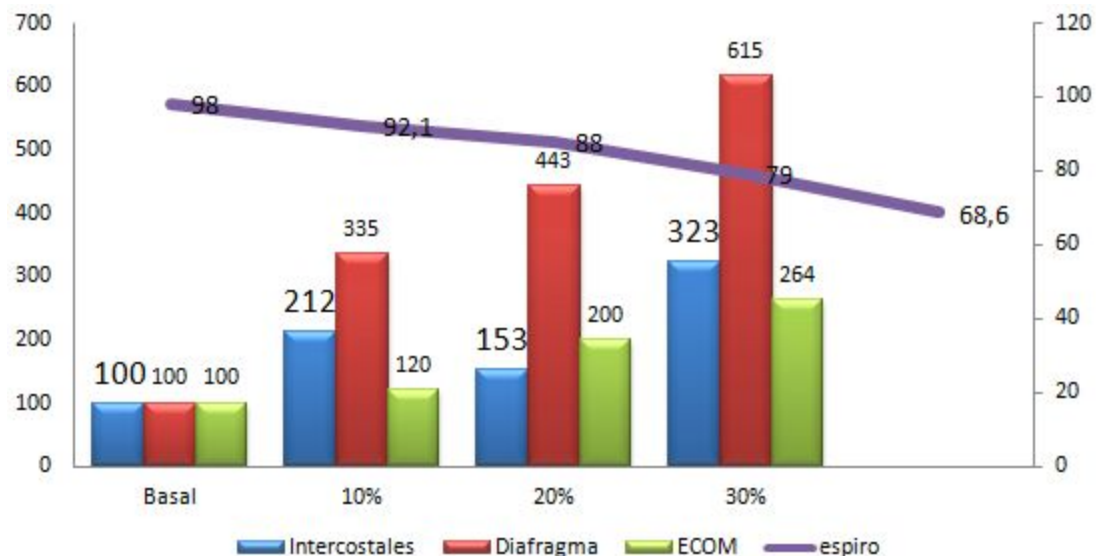
##### 1.1.1 Relación electromiográfica-espirométrica para sujetos al 30% de su Pímax basal:

Tal como se explicó en el apartado de discusión electromiográfica, el principal componente muscular durante todas las mediciones, fue el diafragmático. La contracción

se asemeja en cada carga incremental, dando como resultado un incremento de la actividad diafragmática hasta su máxima contracción al 30%. Al aumentar la carga impuesta los músculos intercostales son los siguientes en incrementar su actividad eléctrica y por último se aprecia la activación esternocleidomastoidea, tal como lo refleja el grafico 7.

Como se puede observar, ante un incremento de la carga umbral, se observa una respuesta eléctrica muscular para “sobrellevar” esta carga. Ante cada fase, el principal músculo para este grupo, el diafragma, responde de manera coherente. De esta misma manera, la musculatura accesoria responde ante este incremento de la resistencia, tal como se observa en una condición obstructiva, en fases iniciales con una contracción intercostal, para luego una retracción supraclavicular. La respuesta al porcentaje del predicho es evidente.

Grafico 7 . Correlación actividad eléctrica, porcentaje del predicho y carga incremental, para sujetos al 30% de  $P_{\text{máx}}$



En el grafico 7 se muestra la correlación de los porcentajes del predicho. junto con la actividad promedio de los sujetos que alcanzaron el 30% de su  $P_{\text{máx}}$ , en relación con las cargas incrementales. Se correlaciona una disminución del % del predicho (98% a 79%

*del predicho al 30% de la  $P_{im\acute{a}x}$ ) con una mayor actividad eléctrica de la musculatura diafragmática (100% normalizado, al 615% solo del diafragma).*

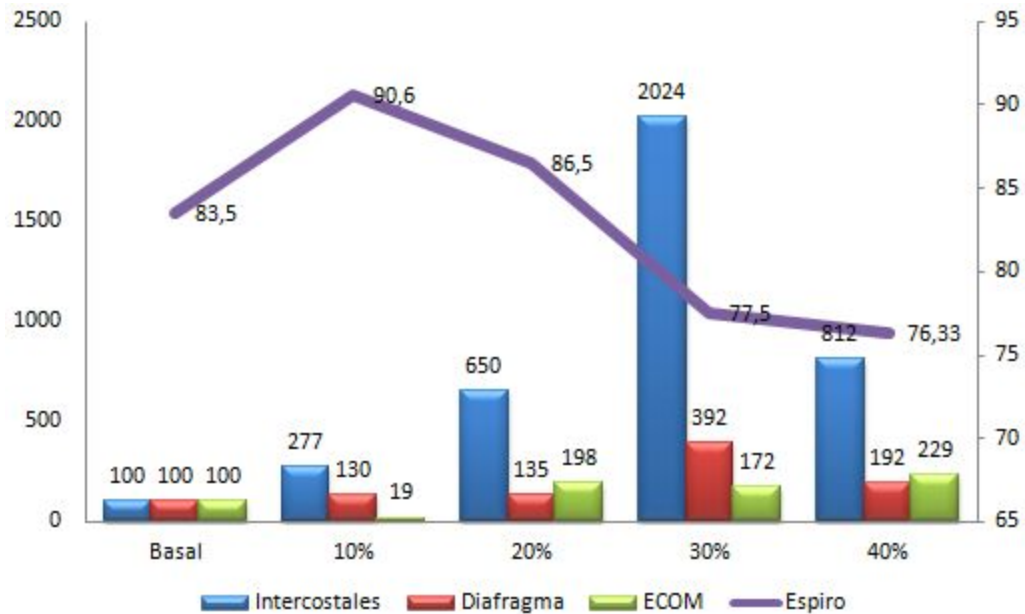
#### 1.1.2 Relación Electromiográfica- espirométrica de sujetos al 40% de su Pímax basal:

Los sujetos de este grupo presentaron una  $P_{im\acute{a}x}$  basal más baja y por consiguiente, el porcentaje impuesto en cada carga equivalía a una resistencia menor en comparación a la resistencia impuesta con el mismo porcentaje pero en sujetos que alcanzaron el 30%.

En los sujetos que alcanzaron el 40% se aprecia un comportamiento de actividad primordial tipo intercostal. Se entiende entonces que la Pímax baja podría correlacionar con una actividad eléctrica intercostal alta, puesto que al existir una menor activación del que se hace necesaria la activación accesoria intercostal.

El comportamiento del predicho se relaciona a la respuesta a la carga umbral por parte del diafragma, queda en evidencia en el grafico 8. Este músculo al ser el principal inspirador, y verse no tan activado en fases basales, llevaría al incremento del porcentaje del predicho.

Grafica 8 . Correlación actividad eléctrica, porcentaje del predicho y carga incremental, para sujetos al 40% de  $P_{\text{máx}}$



En el gráfico 8 se observa la correlación entre el incremento del predicho a cargas del 10%, junto con una activación del diafragma (130%). a medida que aumentan las cargas, la activación del diafragma es insuficiente, compensando solo con intercostales (650% al 20% de  $P_{\text{máx}}$  y 2024% al 30% de  $P_{\text{máx}}$ ). Esta insuficiente activación del diafragma se refleja en una disminución del % del predicho a cargas superiores.

Ya en cargas más elevadas, el incremento de la resistencia sobrepasa a la actividad intercostal, por lo que se aprecia un descenso evidente del porcentaje del predicho. Al 30% se puede observar una activación elevada del diafragma, pero los intercostales, que debieran ser la musculatura más activa en estos sujetos, su actividad eléctrica se ve incrementada de sobremanera. Por último al 40%, la respuesta a la carga es tanto

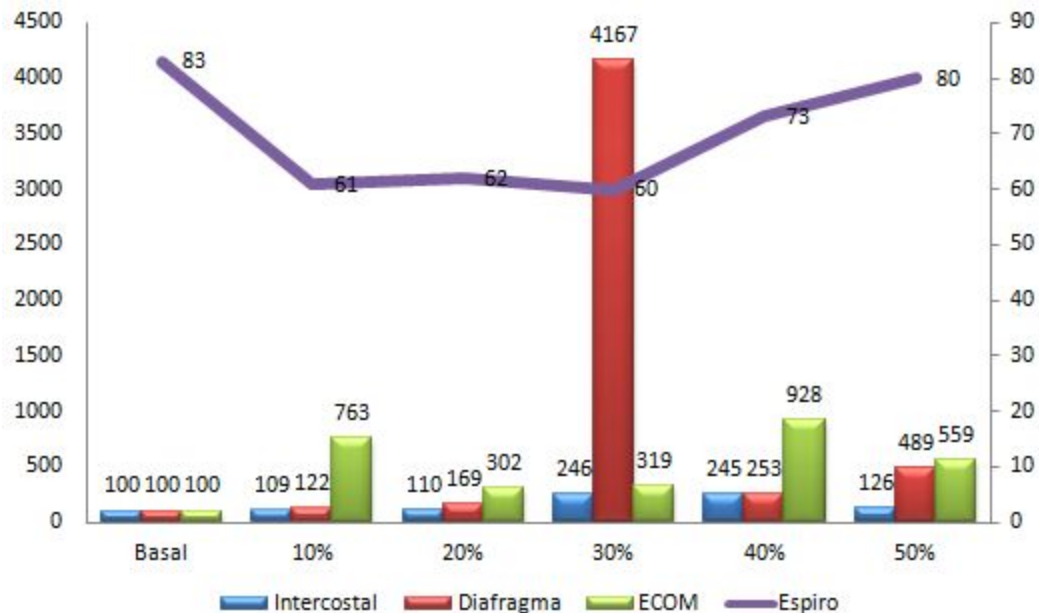
diafragmática como accesoria, sumándose el ECOM, por lo cual el porcentaje se comporta con una pendiente leve.

### 1.2.3 Relación electromiográfica-espirométrica para el sujeto al 50% de su Pímax basal:

Para el sujeto que llegó al 50% de la carga umbral, la correlación es bastante interesante. Con una Pímax tan baja, ya no solo es el diafragma el que se ve con poca actividad eléctrica, sino que también los intercostales. Ahora, el principal músculo que presente una actividad intensa ante la respuesta a la carga, es el esternocleidomastoideo. De ahí que se pueda observar un gráfico de la siguiente manera:

Ante una mínima carga incremental (10%), el descenso del predicho es evidente, llegando a un 61% del predicho. El principal músculo que responde eléctricamente es el ECOM, mientras que los demás músculos, diafragma e intercostales responden escasamente ante esta carga umbral. Con cargas incrementales mayores, como al 20%, el predicho se tiende a estabilizar, aunque sigue siendo bajo (62%), con un incremento de la actividad eléctrica de los 3 grupos musculares. Como ya se ha analizado en los otros grupos, al 30% el principal músculo en activarse es el diafragma, mostrando un incremento desbordante, lo cual se refleja en el inicio del aumento o “ascenso” del predicho espirométrico. Ya en fases finales de carga umbral, los 3 grupos musculares, Diafragma, Intercostales y ECOM, responden a la carga, llevando los porcentajes del predicho a casi la respuesta inicial (50%) (grafico 9).

Grafica 9. Correlación actividad eléctrica, porcentaje del predicho y carga incremental, para el sujetos al 50% de  $P_{\text{max}}$



El gráfica 9 muestra la activación de los ECOM al aplicar una carga incremental (10%), lo cual se correlaciona con un descenso del porcentaje del predicho (83% al 61%). Se observa, al igual que en las otras gráficas (12 y 14), que el diafragma incrementa su actividad al 30%, lo cual se expresa, además, con una estabilización del porcentaje del predicho y un posterior incremento a cargas más elevadas (40% y 50%).

## 2. Relación carga umbral con descenso del predicho por fases:

Como se pudo apreciar en los gráficos de la variación del predicho en relación a cada carga umbral, se puede observar que existe una relación inversa entre, la carga umbral aplicada, con la resultante del porcentaje teórico predicho. Así, mientras se incrementa la carga umbral, los niveles volumétricos tienden a disminuir, por lo cual la musculatura inspiratoria debe “responder” ante esta disminución, he ahí su actividad eléctrica aumentada.

Los porcentajes del predicho se observan a la baja ante cada aumento, observándose que ya a niveles incrementales avanzados, la musculatura se ve “sobrepasada”. He ahí que ya en fases superiores al 30%, el predicho solo tiende al descenso, con pocas señales que presenten alzas.

### 3. Aporte diafragmático a diferentes cargas umbrales

*Al analizar los resultados de la electromiografía nos podemos percatar que el total de contracción necesaria para superar la carga umbral es diferente en todas las resistencias, es por esto que al realizar un análisis de los porcentajes de activación nos encontramos con diferentes respuestas del diafragma en los grupos de carga umbral. Con esto apreciamos la siguiente tabla.*

Tabla 10 porcentaje de activación del músculo diafragma durante las diferentes cargas umbrales

Cargas Umbrales	Grupo Carga umbral 30%	Grupo Carga umbral 40%	Grupo Carga umbral 50%
10%	50,22	30,51	12,27
20%	55,65	13,73	29,08
30%	51,16	15,14	88,06
40%	X	15,57	17,74
50%	X	X	41,65

*En la tabla podemos destacar que el diafragma en el grupo de carga umbral al 30% posee un desempeño mayor al 20% de resistencia, mientras que el grupo al 40% y al 50% son al 10% y al 30% respectivamente.*

## **CONCLUSIÓN**

Del presente estudio es posible extraer las siguientes conclusiones. Queda de manifiesto que al 30% de la carga umbral impuesta efectivamente se encuentra la mayor activación del músculo diafragma, independiente del P<sub>imax</sub> basal del sujeto, siempre se observa una mayor actividad del diafragma al 30%, el cual puede estar acompañado de una menor o mayor actividad de la musculatura respiratoria accesorio, pero que aún así nos indica un mayor trabajo a esa carga umbral, lo cual, se condice con lo expuesto en la literatura y a su vez se aplica en la práctica clínica.

Vemos que, una P<sub>imax</sub> basal elevada se correlaciona con una mayor activación diafragmática, así mismo, una P<sub>imax</sub> basal disminuida se relacionaría con una activación diafragmática menor, la cual, está respaldada por una activación elevada de la musculatura accesorio, quien en este punto tendría un rol fundamental pues actuaría como estrategia de compensación para sobrellevar la carga impuesta supliendo de esta forma la falta de actividad diafragmática, esto no ocurriría en los sujetos con un P<sub>imax</sub> basal mayor, ya que, estos no necesitarían un reclutamiento mayor por parte de la musculatura accesorio.

Con respecto a la variación de los volúmenes pulmonares de los sujetos, vemos que hubo una disminución al aumentar la carga umbral, esto es debido a que al elevar el umbral necesario para producir un ingreso de aire y por consiguiente aumento del volumen pulmonar, los sujetos no fueron capaces de ingresar un volumen/flujo tan fácil como lo hicieron sin un aumento de la carga, aparte de esto vemos que los sujetos que presentaban un p<sub>imax</sub> basal mayor tuvieron una mejor tolerancia, ya que, si bien el



patrón es descendente, muestra una menor variación entre cada carga aplicada con respecto a los sujetos que tenían una menor  $P_{imax}$  basal.

Con respecto a los patrones vistos en nuestro estudio, se ve que todos los sujetos cayeron en el valor del predicho al aplicar diferentes cargas umbrales, lo cual nos indica una disminución del volumen pulmonar. Se vio que en el grupo que alcanzo el 30% no hay una disminución entre cada carga umbral tan grande como sucede en el grupo del 40%, esto debido a que en el primer grupo hay una mayor activación del diafragma, acompañado en menor medida de la musculatura accesoria, a diferencia del grupo del 40% en el cual la musculatura accesoria es la que se activa principalmente, el sujeto que alcanzo el 50% presenta una baja del predicho, el cual empieza a aumentar a partir del 30% de la carga umbral.

Con respecto al entrenamiento de la musculatura con el dispositivo, vemos que si bien al 30% de carga umbral hay una mayor actividad del diafragma, al no ser éste el músculo que genera la mayor activación a una carga umbral, no habría un entrenamiento óptimo, es por esto que se llegó a la conclusión de que el entrenamiento óptimo debería ser a una carga donde el porcentaje de actividad del diafragma sea el mayor con respecto a las otras resistencias, para así buscar una mejora en la activación y fuerza muscular diafragmática. Esto nos ayudaría a lograr una inspiración realizada mayoritariamente por el diafragma.

Finalmente, dejamos abierta la posibilidad para que trabajos futuros puedan contar con una población mayor a la de este estudio, aparte de esto, realizar el estudio en sujetos que cuenten con condiciones de salud diferentes, las cuales comparar con los sujetos sanos utilizado en este trabajo, y por último realizar estudios en las demás variables requeridas en un entrenamiento, para así en un futuro lograr un entrenamiento protocolizado para cada sujeto según sus capacidades y alcanzar un trabajo óptimo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Pinheiro de C. Graça, Saldías P. Fernando, “Entrenamiento muscular inspiratorio en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica”. *Rev chil de enfer resp.* 2011; 27. 116- 123.
2. Walter F. Boron, MD, PhD and Emile L. Boulpaep, MD. “Medical Physiology”. 2nd ed. Estados Unidos . *Elsevier*; 2012.
3. Donald Neumann. “Fundamentos de Rehabilitación Física”. In: paidotribo (eds.). 1st ed.: *Pedro Gonzalez del Campo*; 2007.
4. Cruz Mena E., Moreno Bolton R. “Aparato Respiratorio Fisiología y Clínica”. 5th ed. Chile: *Mediterraneo*; 2007.
5. De Andrade a D, Silva TNS, Vasconcelos H, Marcelino M, Rodrigues-Machado MG, Filho VCG, y Cól. “Inspiratory muscular activation during threshold therapy in elderly healthy and patients with COPD”. *J Elect Kin*, 2005; 6:631–639.
6. Galdiz Iturri JB, “Función de los músculos respiratorios en la EPOC”; *Arch de Bronconeum*, 2000;36:275-285.
7. Gonzalez Montesinos J.B. “Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento”. *Rev Andal de Med del Depor.* 2012;5:170- 163.
8. Smart N. ”Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis”. *Int J of Cardiol.* 2013; 167: 1502-1507.
9. Kido, S., Nakajima, Y., Miyasaka, T., Maeda, Y., Tanaka, T., Yu, W., Takayanagi, K. “Effects of combined training with breathing resistance and sustained physical exertion to improve endurance capacity and respiratory muscle function in healthy young adults” *J of Phys Ther Sci*, 2013; 25:605–610.

10. Da Gama, A. E. F., de Andrade Carvalho, L. y Cól. “Acute effects of incremental inspiratory loads on compartmental chest wall volume and predominant activity frequency of inspiratory muscle”. *J of Elect and Kin : Offi J of the Int Soc of Elect Kin*, 2013; 23: 1269-1277.
11. Orozco-Levi, M., Marco Navarro, E., & Ramírez-Sarmiento, a. L. “Entrenamiento de los músculos respiratorios: ¿sí o no?” *Rehab*, 2010, 44:167–176.
12. Reis. L. F. F. “A Long-term pulmonary rehabilitation program progressively improves exercise tolerance, quality of life and cardiovascular risk factor in patients with COPD” *Euro J of Phys and Rehab med*.2013;49:491-512.
13. Coutinho Myrrha, M. A. y Cól. “Chest wall volumes during inspiratory loaded breathing in COPD patients”. *Resp Phys & Neuro*, 2013; 188: 15–20.
14. Reilly, C. C., Jolley, C. J., Ward, K., MacBean, V., Moxham, J., & Rafferty, G. F. “Neural respiratory drive measured during inspiratory threshold loading and acute hypercapnia in healthy individuals”. *Exp Phys*, 2013; 98: 1190–1198.
15. Janssens L., Brumagne S. “The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: A systematic review”. *Resp Med*, 2013; 107: 331- 346.
16. Vargas-domínguez C, y Cól.. “Pruebas de función respiratoria, ¿cuál y a quién?”; *Neumol Cir Torax*, 2011; 70:101–117.
17. Rolf M. Schlegelmilch “Pulmonary Function Testing” *Springer*, 2011; 8: 95–118.
18. Ranu H., Wilde M., Madden B.; “Pulmonary Function Test”, *Ulster Med J*, 2011; 80:84-90.
19. Pellegrino R. y Cól., “Interpretative strategies for lung function tests”, *Euro Resp J*, 2005; 26:948-968.
20. Arne M, y Cól. “How often is diagnosis of COPD confirmed with spirometry?” *Respir Med*, 2010; 104:550–556.

21. Gutierrez M., Beroíza T., Borzone T.; “Espirometría : Manual de procedimientos . Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias” *Rev. Chil Enf Respir*, 2007; 1:31–42.
22. García-río F y Cól. “Espirometría” *Arch Bronconeumol*, 2014; 49:388–401.
23. Miller M.R. y Cól. “Standardisation of spirometry”. *Eur Respir J*, 2005; 26:319–338.
24. Booker R., “Simple spirometry measurement” *Nurse Standard*, 2008; 22:35–40.
25. Mikulski M. y Cól. “Agreement between fixed-ratio and lower limit of normal spirometry interpretation protocols decreases with age: is there a need for a new GOLD standard?” *J Occup Environ Med*, 2013; 55:802–808.
26. Oei S.M. y Cól. “Effect of spirometry and medical review on asthma control in patients in general practice: a randomized controlled trial”. *Respirology*, 2011; 16:803-810.
27. Clotet J. y Cól. “Espirometría como método de cribado y de intervención antitabaco en fumadores de alto riesgo en atención primaria” *Aten Primaria*, 2012; 44:328-334.
28. Wallace L.D., Troy K.E. “Office-based spirometry for early detection of obstructive lung Disease” *J of the Amer Ac of Nurse Pract*, 2006; 1:414–421.
29. Centurion V.P. “Confirmatory spirometry for adults hospitalized with a diagnosis of asthma or chronic obstructive pulmonary disease exacerbation” *Pulm Med*, 2012; 12:73 1-737.
30. Petak F., Cvek D., Novk Z. “Spirometry and forced oscillations in the detection of airway hyperreactivity in asthmatic children” *Ped Pulm*, 2012; 47:956–965.
31. Quanjer P.H. y Cól. “Age-and height-based prediction bias in spirometry reference equations” *Eur Respir J*, 2012; 40:190-197.

32. Stanojevic S. y Cól. “Reference ranges for spirometry across all ages: a new approach”. *J Respir Crit Care Med*, 2008; 177:253–260.
33. Thompson B.R. y Cól. “The all-age spirometry reference ranges reflect contemporary Australasian spirometry” *Respirology*, 2011; 16:912–917.
34. Wang Y. y Cól.; “Predicted lower limit of normal reduces misclassification risk of airflow limitation in asymptomatic elderly never-smokers”. *Chin Med J*, 2013; 126:3486–3492.
35. Quanjer P.H. y Cól.. “Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95 year age range: the global lung function 2012 equations”. *Eur Respir J*, 2012; 40:1324–1343.
36. Layton A.M. y Cól. “Optoelectronic plethysmography compared to spirometry during maximal exercise” *Respir Physiol Neurobiol*, 2013; 185:362–368
37. Brazzale J.D., Hall L.G., Pretto J.J. “Effects of Adoption the New Global Lung Function Initiative 2012 Reference Equations on the Interpretation of Spirometry” *Respiration*, 2013; 86:183–189.
38. Goncalves de Barros A.R. y Cól. “Importance of slow vital capacity in the detection of airway obstruction” *J Bras Pneumol*, 2013; 39:317-322.
39. Black L. & Hyatt R.; “Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex” *Ame Rev of Respir Disease*, 1969; 99:696-701.
40. Prigent H. y Cól. “Vital capacity versus maximal inspiratory pressure in patients with Guillain-Barré syndrome and Myasthenia Gravis”. *Neurocrit*, 2012; 17:236–239.
41. Tudorache y Cól., “Clinical relevance of Maximal Inspiratory determination in COPD Exacerbation” *Int J of Chronic Obs Pulmonary Disease*. 2010;5:119-123.

42. Graetz J.P. y Cól. “Evaluation of Maximal Inspiratory and sniff nasal inspiratory pressures in pre and postoperative myocardial revascularization”, *Rev Bras Cir Cardiovasc*, 2012; 27:607-613.
43. Ali Cader S. y Cól. “Inspiratory muscle training improves maximal inspiratory pressure and may assist weaning in older intubated patients: a randomised trial” *J of Physiother*, 2010; 56:171-177.
44. Wen A.S. y Cól. “How many maneuvers are required to measure Maximal Inspiratory Pressure Accurately?” *CHEST*, 1997; 111:802-807.
45. Battaglia E. y Cól. “Rationale of the Combined Use of Inspiratory and Expiratory Devices in Improving Maximal Inspiratory Pressure and Maximal Expiratory Pressure of Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease” *Arch Phys Med Rehabil*, 2009; 90:913-918.
46. Yang K.L. “Inspiratory pressure/maximal inspiratory pressure ratio: a predictive index of weaning outcome” *Inten Care Med*, 1993; 19:204-208.
47. M.A. Cavalcanti Garcia and T.M. M, “Surface electromyography: Why, when and how to use it” *Elsevier*, 2011; 4:17-28.
48. Villarroya Aparicio M. “Electromiografía cinesiología” *Rehabilitación*, 2005; 39:255–264.
49. Staudenmann D, Roeleveld K, Stegeman DF, van Dieën JH. “Methodological aspects of SEMG recordings for force estimation: A tutorial and review” *J Electromyogr Kin, Elsevier*, 2010; 20: 375–387.
50. Lúzar JII, Zorrilla EP, Fernández C, “Rehabilitación: Electromiografía clínica” *Elect Clin* 2005; 39: 265–276.

51. Aalderen MC Van, Lunardi AC, Porras DC, Barbosa RCC, Paisani DM, Cb C, y Cól. "Respiratory muscle activity measured with a noninvasive EMG technique : technical aspects and reproducibility". 2014;1955–1961.
52. De Luca, C. J. "The use of Surface Electromyography", 1997, July 1993, 1–38.
53. Meekins GD, So Y, Quan D. "American Association of Neuromuscular & Electrodiagnostic Medicine evidenced-based review: use of surface electromyography in the diagnosis and study of neuromuscular disorders. Muscle Nerve" *Amer Assos of Neuro*, 2008; 38:1219–1224.
54. Fuglsang-Frederiksen A. "The role of different EMG methods in evaluating myopathy. Clin Neurophysiol" 2006; 117: 1173–1189.
55. Slim Y, Raoof K. "Removal of ECG interference from surface respiratory electromyography" *Irbm. Elsevier Masson SAS*, 2010; 31: 209–220.
56. Falla D. Dall P. Rainoldi A. Merletti R. Jull G. "Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles – a basis for clinical and research electromyography applications" *Clinical Neurophysiology*. 2002; 113: 57–63.
57. Hawkes EZ, Nowicky A V, McConnell AK. "Diaphragm and intercostal surface EMG and muscle performance after acute inspiratory muscle loading" *Respir Physiology Neurobiol*, 2007; 155: 213–219.
58. Nguyen E.T., Silva I.S. y Cól. "Pulmonary Complications of Illicit Drug Use: Differential Diagnosis Based on CT Findings" *J Thorac Imaging*, 2007; 22:119-206.
59. Tetrault J.M., Crothers K. y Cól. "Effects of Marijuana Smoking on Pulmonary Function And Respiratory Complications" *Arch Intern Med*, 2007; 167:221-228.
60. VOLUNTEERING IN CUSCO. <http://volunteering-peru.com/blog/la-meditacion/> (accessed 7 de Agosto del 2014).

61. Diagnostics Corporation. <http://mgcdiagnostics.com/products/view/cpfs-d-usb> (accessed 07 de Agosto del 2014).
62. DELSYS . <http://www.delsys.com/products/desktop-emg/bagnoli-desktop/> (accessed 30 de Julio del 2014).
63. DELSYS . <http://www.delsys.com/products/desktop-emg/bagnoli-desktop/> (accessed 20 de Julio del 2014).
64. E. J. W. Maarsingh. Respiratory muscle activity measured with a noninvasive.EMG technique: technical aspects and reproducibility .2000.



# ANEXOS

Anexo 1 Carta Gantt

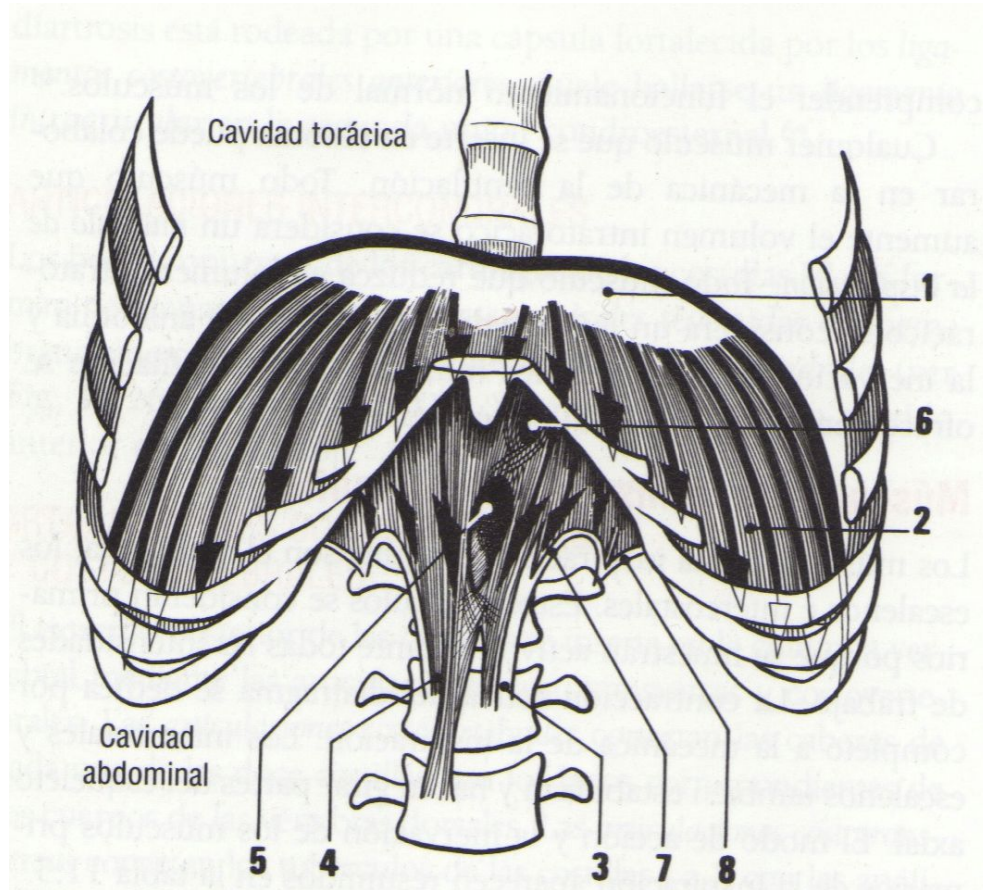


## Proceso Investigativo Segundo Semestre 2014

ACTIVIDAD	PLAN INICIO	PLAN DURACIÓN	REAL INICIO	REAL DURACIÓN	PORCENTAJE COMPLETADO	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
<b>Comité de Ética</b>	9	1	9	1	100%						
Realización de encuestas	9	2	0	0	0%						
Selección de sujetos	9	2	0	0	0%						
Toma de muestras	11	2	0	0	0%						
Análisis estadístico	13	1	0	0	0%						
Interpretación de los resultados	13	2	0	0	0%						
Discusión	13	1	0	0	0%						
Conclusión	13	1	0	0	0%						

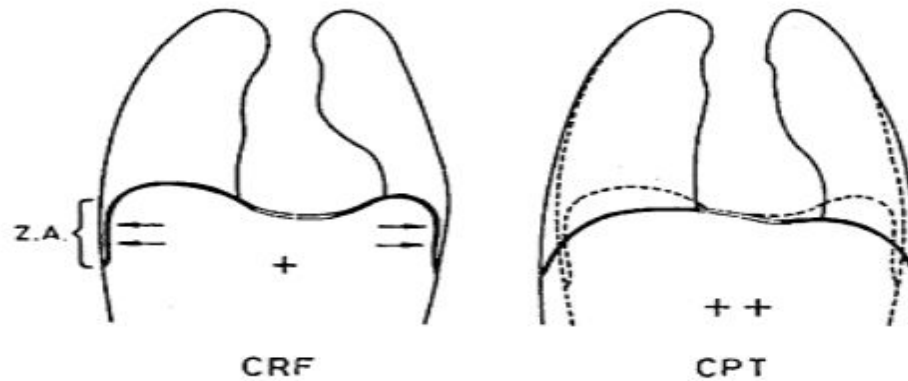
 Plan
  Real
  Real (más allá del plan)
  % completado
  % Completo (más allá del plan)

## Anexo 2 Inserciones del Diafragma



1. Centro Tendinoso del diafragma; 2 fibras musculares (porción costal); 3 Pilar izquierdo; 4 Pilar derecho; 5 Hiato aórtico; 6; Hiato esofágico; 7 Porción del músculo psoas; 8 Porción del músculo cuadrado lumbar. (3) Donald Neumann. Fundamentos de Rehabilitación Física. In: paidotribo (eds.). 1st ed.: Pedro González del Campo; 2007.

### Anexo 3 Zona de Aposición



Z.A zona de aposición del músculo diafragma. (4) Cruz Mena E., Moreno Bolton R. Aparato Respiratorio Fisiología y Clínica. 5th ed. Chile: Mediterráneo; 2007.

### Anexo 4 Músculos de la inspiración forzada

TABLA 11.6. Músculos de la inspiración forzada			
Músculo	Modo de acción	Inervación	Localización del dibujo
Serrato posterosuperior	Aumenta el volumen intratorácico al elevar las costillas superiores	Nervios intercostales (ramos ventrales T2-9)	Capítulo 11
Serrato posteroinferior	Estabiliza las costillas inferiores para la contracción del diafragma	Nervios intercostales (ramos ventrales T9-12)	Capítulo 11
Elevador de la costilla (largo y corto)	Aumenta el volumen intratorácico al elevar las costillas superiores	Ramos de los ramos dorsales de los nervios espinales dorsales adyacentes	Capítulo 10
Esternocleidomastoideo	Aumenta el volumen intratorácico al elevar el esternón y las costillas superiores	Fuente primaria: nervio accesorio (XI nervio craneal)	Capítulo 10
Dorsal ancho	Aumenta el volumen intratorácico al elevar las costillas inferiores; esta función requiere que los brazos estén fijos	Nervio toracodorsal (C6-8)	Capítulo 5
Iliocostal torácico y cervical (erector de la columna)	Aumenta el volumen intratorácico al extender el tronco; estabiliza el cuello para la contracción del esternocleidomastoideo y los escalenos	Ramos dorsales adyacentes de los nervios espinales	Capítulo 10
Pectoral menor	Aumenta el volumen intratorácico al elevar las costillas superiores; requiere la activación de músculos como el trapecio y el elevador de la escápula para estabilizar ésta	Nervio pectoral medial (C7-9)	Capítulo 5
Pectoral mayor (porción esternocostal)	Aumenta el volumen intratorácico al elevar las costillas medias y el esternón; esta función requiere que los brazos estén fijos Una mayor flexión o abducción de los hombros aumenta la línea de fuerza vertical de las fibras musculares respecto a sus inserciones torácicas; esta estrategia aumenta la eficacia de este músculo para expandir el volumen intratorácico	Nervios pectorales lateral y medial (C3-T1)	Capítulo 5
Serrato anterior	Aumenta el volumen intratorácico al elevar las costillas	Nervio torácico largo (C3-7)	Capítulo 5
Cuadrado lumbar	Estabiliza las costillas inferiores para la contracción del diafragma durante el inicio de una inspiración forzada	Ramos ventrales de T12-L3	Capítulo 10

(3) Donald Neumann. Fundamentos de Rehabilitación Física. In: paidotribo (eds.). 1st ed.: Pedro González del Campo; 2007



## Anexo 5 Músculos de la espiración forzada

TABLA 11.7. Músculos de la espiración forzada			
Músculo	Modo de acción	Inervación	Localización del dibujo
Músculos abdominales recto del abdomen oblicuo externo del abdomen oblicuo interno del abdomen transverso del abdomen	1. Reducen el volumen intratorácico al flexionar el tronco y deprimir las costillas 2. Comprimen la pared abdominal y su contenido, lo cual aumenta la presión intraabdominal; como resultado, el diafragma relajado es empujado hacia arriba, y eso reduce el volumen intratorácico	Nervios intercostales; ramos ventrales T7-L1	Capítulo 10
Transverso del tórax	Reduce el volumen intratorácico al deprimir las costillas	Nervios intercostales (ramos ventrales adyacentes)	Capítulo 11
Intercostales	Los intercostales, sobre todo las fibras internas, reducen el volumen intratorácico al deprimir las costillas	Nervios intercostales, ramos ventrales T2-T12	Capítulo 11

(3) Donald Neumann. Fundamentos de Rehabilitación Física. In: paidotribo (eds.). 1st ed.: Pedro González del Campo; 2007.

## Anexo 6 Dispositivo de hiperpnea voluntaria isocápnica



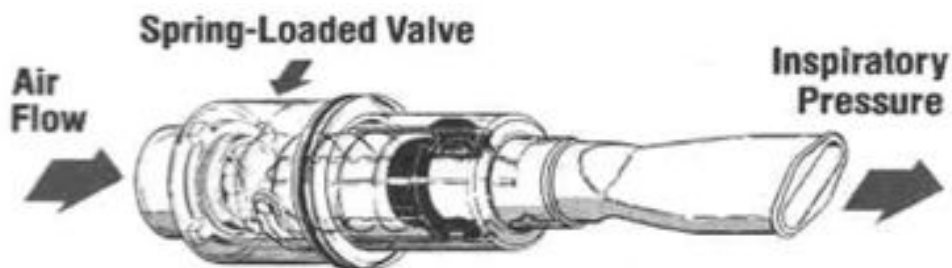
(7) Gonzalez Montesinos J.B. “Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento”. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*.2012;5(4):170- 163

#### Anexo 7 Dispositivo Carga resistiva



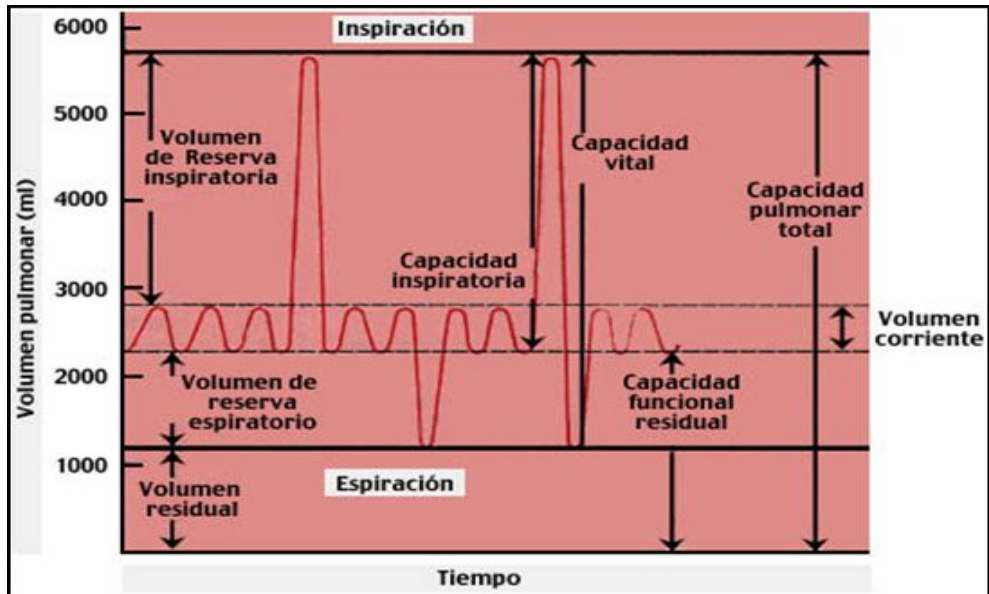
(7) González Montesinos J.B. “Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento”. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*.2012;5(4):170- 16

#### Anexo 8 Dispositivo de carga umbral



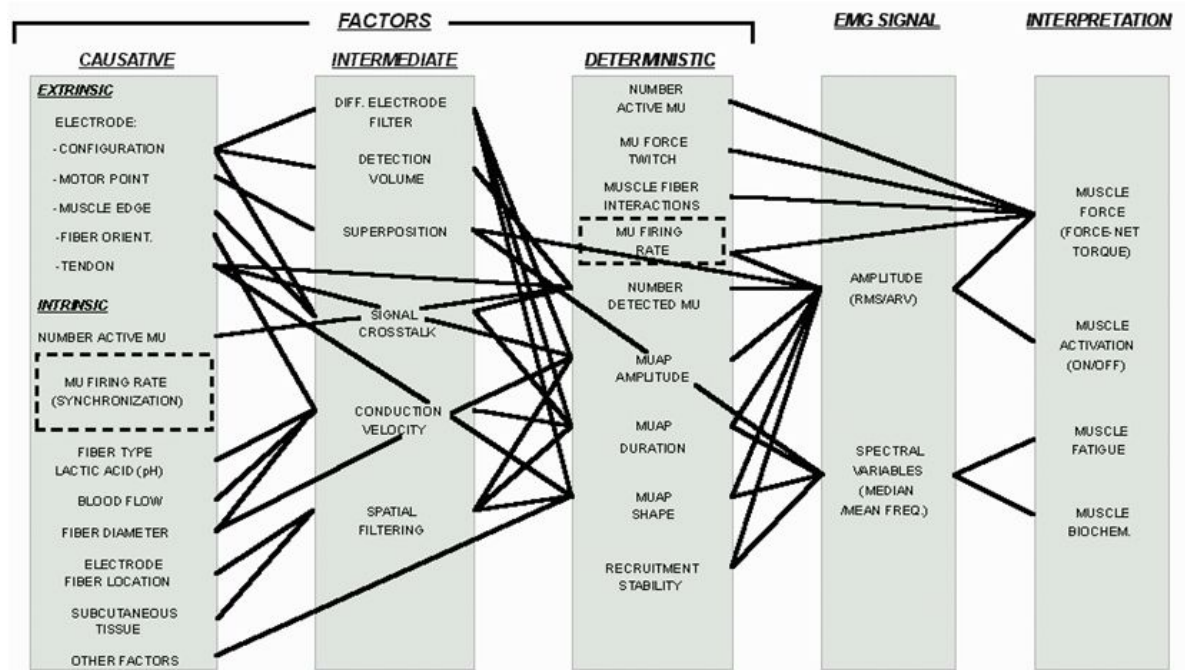
Dispositivo Threshold IMT . (5) González Montesinos J.B. “Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento”. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*.2012;5(4):170- 163

## Anexo 9 Registro espirométrico Capacidades y Volúmenes



(3) Donald Neumann. Fundamentos de Rehabilitación Física. In: paidotribo (eds.). 1st ed.: Pedro González del Campo; 2007. Cuadro gráfico que explica detalladamente el registro obtenido en un procedimiento espirométrico, nombrando los volúmenes y capacidades obtenidas en la medición., tanto en fase inspiratoria, como espiratoria. El cuadro, además, explica que la Capacidad Vital Lenta (CVL), es la suma del Volumen de Reserva Inspiratoria (VRI) más Volumen Corriente (VC) más el Volumen de Reserva Espiratoria (VRE).

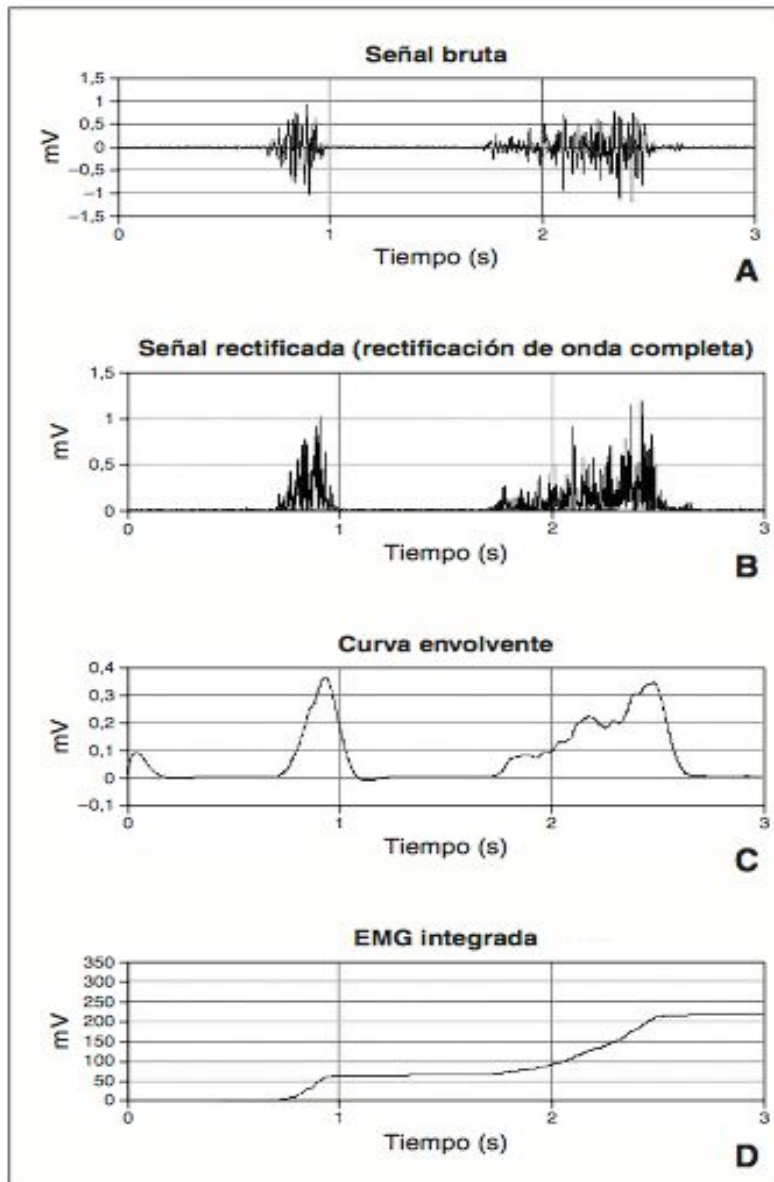
## Anexo 10 Factores que alteran la señal EMG



(52) De Luca, C. J. (1997). THE USE OF SURFACE ELECTROMYOGRAPHY, July 1993, 1–38. Esquema según De Luca de cómo los factores afectan la señal electromiográfica y a su vez la interpretación de esta.



## Anexo 11 Gráfico amplitud



(48) Villarroya Aparicio M a. Electromiografía cinesiológica. Rehabilitación. 2005 Jan;39(6):255–64. Se muestran las diferentes etapas a las que se somete una señal, (A)Señal bruta (B)Señal rectificada(C)Curva envolvente(D) EMG integrada.

Anexo 12 Pauta de cotejo

**Pauta de Cotejo**

**Folio N°:**

--

<b><i>DATOS PERSONALES DE SUJETOS DE PRUEBA</i></b>		
<b>Nombre Completo:</b>		<b>Fecha de Nacimiento:</b>
<b>Género:</b>	<b>RUN:</b>	<b>N° de Teléfono:</b>
<b>Mail:</b>		<b>Firma:</b>

	INSTRUCCIONES		
	<p>Responda las preguntas que se le presenta a continuación con seriedad, respeto y total sinceridad. Cada pregunta debe ser respondida con un <i>Sí</i> o un <i>No</i>. Existen ciertas preguntas en las cuales se les solicitará información adicional, la cual debe ser anotada en cada recuadro correspondiente en la columna <i>Datos</i>.</p>		
N° de pregunta	Preguntas	Si/No	Datos
1	¿Eres estudiante de Kinesiología de la UNAB?		-

<b>2</b>	¿Tienes entre 18 y 25 años? ¿Edad?		
<b>3</b>	¿Fumas? Si es así, ¿Cuántos cigarros al día?		
<b>4</b>	¿Realizas algún deporte en específico de forma competitiva representativa a nivel nacional e internacional?		.
<b>5</b>	¿Eres alérgico? Si es así, ¿A qué?		
<b>6</b>	¿Padeces de alguna enfermedad respiratoria? (Asma, Fibrosis Quística, etc.)		-
<b>7</b>	¿Posee alguna malformación torácica? (Escoliosis, cifoscoliosis etc.)		-
<b>8</b>	¿Eres Hipertenso?		-
<b>9</b>	¿Padeces alguna enfermedad dermatológica?		.
<b>10</b>	¿Eres Diabético?		-
<b>11</b>	¿Consumes algún tipo de medicamento?		.
<b><i>Preguntas 12 y 13 solo para mujeres</i></b>			
<b>12</b>	¿Estas Embarazada?		-
<b>13</b>	¿Tienes un ciclo menstrual regular? Si es así, ¿Cuándo fue la última regla?		

## Anexo 13 Consentimiento Informado



### CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Investigador Principal: Kinesióloga Paola Figueroa González**

**Colaboradores: Leonardo Ahumada Fuentes  
Miguel Arancibia Apiolaza  
Rodrigo Castilla Rubio  
Inés Olivares Iturra**

**Universidad Nacional Andrés Bello**

**Este Documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:**

- **Información (proporciona información sobre el estudio que realizaremos)**
- **Formulario de Consentimiento Informado.**

Este formulario de consentimiento informado se dirige a hombres y mujeres estudiantes de la Universidad Nacional Andrés Bello, que cursan la carrera de kinesiología y poseen entre 18 a 25 años, donde, se les invita a participar en la siguiente investigación: **DESCRIPCIÓN DE LA AMPLITUD DE ACTIVACIÓN MÁXIMA DE LOS MÚSCULOS RESPIRATORIOS DURANTE EL REGISTRO DE CAPACIDAD VITAL LENTA A TRAVÉS DE ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE UTILIZANDO CARGA INCREMENTAL EN SUJETOS SANOS.**

## 1. \_ Información

Somos estudiantes de cuarto año de la Carrera de Kinesiología de la Universidad Nacional Andrés Bello y nos encontramos desarrollando una investigación para el ramo de Proceso Investigativo acerca de la activación de los músculos respiratorios durante la aplicación de una carga incremental. Le entregaremos información y lo invitaremos a participar en la investigación. No tiene que decidir inmediatamente si participar o no, puede tomarse tiempo para reflexionar y realizar las consultas que estime necesarias antes de decidirse. Aun si usted acepta participar, puede cambiar de idea más tarde y dejar de hacerlo sin que esto le afecte de forma alguna.

Existe la posibilidad de que haya palabras o conceptos que no comprenda, siéntase libre de preguntarle a cualquiera de los integrantes del equipo investigador

Cuando realizamos una inspiración tranquila reclutamos una serie de músculos, dentro de los cuales destaca el diafragma pues es el principal músculo involucrado en la inspiración, y, al igual que cualquiera de los otros músculos del cuerpo este también, se puede debilitar.

Entre las técnicas que se utilizan para fortalecerlo se encuentra la aplicación de una carga umbral, la cual consiste en respirar por medio de un aparato que opone resistencia a la inspiración hasta que se supere una carga impuesta, se puede graduar con diferentes resistencias y mientras más grande es la resistencia, más fuerza se debe hacer para poder inspirar. En la actualidad hay arbitrariedad acerca de la mejor carga de trabajo que provoca la máxima amplitud electromiográfica durante la contracción de estos músculos. El fin de esta investigación es averiguar en qué carga se produce esta máxima activación de los músculos respiratorios en sujetos sanos.

Esta investigación constará de un único día de medición donde se registrará, mediante electromiografía de superficie, la actividad de los músculos respiratorios mientras se realiza una medición espirométrica a Capacidad Vital Lenta con una carga umbral, la cual, irá aumentando de forma incremental. Todos los procedimientos que se acaban de mencionar serán realizados por profesionales competentes y con experiencia, están validados, certificados para investigación y se explican más adelante con mayor detalle.

Usted ha sido seleccionado por cumplir con todos los criterios de inclusión. Su participación en esta investigación es total y absolutamente voluntaria, usted puede elegir libremente participar o no. El participar o no hacerlo, **NO** traerá ninguna consecuencia.

Su participación en esta investigación **NO** tendrá ninguna recompensa económica. La información que recaudada será de uso exclusivo para la investigación y será eliminada una vez concluido el estudio.

### **Procedimientos**

Durante la medición le pediremos que respire según las instrucciones que le daremos a través de una válvula que estará conectada a un espirómetro y, simultáneamente estaremos registrando la actividad de sus músculos diafragma, intercostales y esternocleidomastoideo por medio de electrodos. A continuación detallaremos cada uno de los procedimientos.

Antes de iniciar la medición se le realizará el registro de parámetros tales como:

- Presión arterial (PA)
- Saturación de Oxígeno
- Temperatura
- Frecuencia respiratoria
- Frecuencia Cardíaca
- Peso
- Estatura
- Índice de masa corporal (IMC)
- Presión arterial media (PAM)

\*Algunos de estos datos nos entregarán información que será utilizada posteriormente en la medición y otros nos servirán para comprobar que se encuentra en condiciones adecuadas para participar en la investigación en ese momento.

Posterior al registro anterior se le realizará una prueba llamada  $P_{im\acute{a}x}$  (Presión inspiratoria máxima), la cual se define como la máxima presión generada por los músculos respiratorios al realizar una inspiración forzada, esta prueba evalúa de manera simple la fuerza de sus músculos inspiratorios y nos permitirá individualizar las resistencias que le pondremos más adelante en la medición. Para esta prueba usted deberá estar sentado, se le colocará una pinza en la nariz y deberá tomar aire fuerte y rápidamente a través de un aparato que le entregaremos cuando le demos la señal.

Dentro de la mediciones que constituyen propiamente la investigación se incluye el registro electromiográfico de sus músculos respiratorios, este procedimiento es seguro, no invasivo, usted no sentirá dolor ni molestia alguna y por sobre todo no representa ningún riesgo para su salud. Por medio de una cinta adhesiva de doble faz se pegaran sensores llamados electrodos sobre la superficie de su piel, estos electrodos registran la actividad eléctrica que generan sus músculos mientras usted realiza una acción y estarán ubicados en lugares específicos de su tórax y espalda. Para poder ubicar estos sensores

de manera adecuada necesitaremos que asista con ropa deportiva, en el caso de ser hombre deberá usar solo un short y quedar con el torso descubierto, en cambio, si usted es mujer deberá vestir calzas y peto.

Otro de los procedimientos que se le realizará se denomina espirometría, este examen se utiliza para evaluar la función de sus pulmones y es una prueba muy confiable, sencilla e indolora. El parámetro que mediremos se llama capacidad vital lenta y para su medición usted deberá tomar y botar aire según las instrucciones que le daremos en el momento, esta respiración guiada se hará por medio de una válvula de carga umbral conectada a un equipo llamado espirómetro. Este registro espirométrico se realizará varias veces, y, tal como mencionamos anteriormente la válvula que será utilizada permite poner diferentes cargas de trabajo. En el primer registro se realizará el examen sin ninguna carga, sin embargo, las mediciones siguientes si tendrán una carga impuesta, la cual irá aumentando poco a poco, sin llegar a la fatiga.

Se le solicitará que acuda una sola vez para realizar las mediciones pertinentes, estas, se llevarán a cabo en la calle Fernández Concha # 700 en la sede de Casona Las Condes de la Universidad Nacional Andrés Bello, en el edificio de la facultad de rehabilitación (C5), los días sábados a las 9:30 de la mañana, la fecha específica se le informará por medio de email o teléfono de contacto.

Al participar usted no correrá ningún riesgo físico ni psíquico, todos los equipos, procedimientos y mediciones que se le realizarán están validados y protocolizados, la única inconveniencia que podría haber sería mínima posibilidad de que presente algunas molestias tales como; mareo, dolor de cabeza y reacción alérgica al pegamento de los electrodos.

Para su tranquilidad toda la información recolectada en la pauta de cotejo y todos los registros de las mediciones que obtendremos serán eliminados luego de ser utilizados en la investigación, además, sus datos personales sólo se utilizarán como medio de contacto mientras dure la investigación, ya que, para el procesamiento de los datos usted será identificada por medio de un folio y no por su información personal.

Las conclusiones que realicemos, además de los conocimientos extraídos de este estudio le serán informados si es que el estudio llegase a ser publicado.

Si tiene alguna duda puede realizarlas en el momento que estime conveniente (ahora o más tarde), inclusive una vez iniciado el estudio. Si quiere hacer una consulta más tarde, puede contactar a cualquiera de las siguientes personas:

- Leonardo Ahumada, fono: 98498190, email: l.ahumada.kine@outlook.com
- Miguel Arancibia, fono: 78978113, email: m.arancibiakine@gmail.com
- Rodrigo Castilla, fono: 61250599, email: r.castilla.rubio@gmail.com

- Inés Olivares , fono: 89293454, email: ineschik7@gmail.com

## 2.\_ Formulario Consentimiento Informado

*He sido invitado a participar en la investigación sobre la descripción de la máxima amplitud de los músculos respiratorios durante el registro de capacidad vital lenta a través de electromiografía de superficie aplicando una carga incremental. Entiendo claramente todos los procedimientos que se me realizarán y he sido informado de que los riesgos son mínimos y pueden incluir solo mareo, dolor de cabeza y reacciones alérgicas al pegamento de los electrodos. Sé que puede que no haya beneficios para mi persona y que no se me recompensará económicamente. Se me ha proporcionado el nombre de los investigadores y que estos pueden ser fácilmente contactados usando los nombres y emails que se me han dado.*

*Afirmo que he leído la información proporcionada, también, he tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte en ninguna manera mi rendimiento académico o salud.*

Nombre del Participante	
Firma del Participante	
Fecha (Día/mes/año )	

Nombre Investigador Principal: Kinesióloga Paola Figueroa González

Firma \_\_\_\_\_

Fecha (Día/mes/año) \_\_\_\_\_

Nombre Colaborador 1: Leonardo Antonio Ahumada Fuentes

Firma \_\_\_\_\_



Fecha (Día/mes/año)\_\_\_\_\_

Nombre Colaborador 2: Miguel Arancibia Apiolaza

Firma \_\_\_\_\_

Fecha (Día/mes/año)\_\_\_\_\_

Nombre Colaborador 3: Rodrigo Antonio Castilla Rubio

Firma \_\_\_\_\_

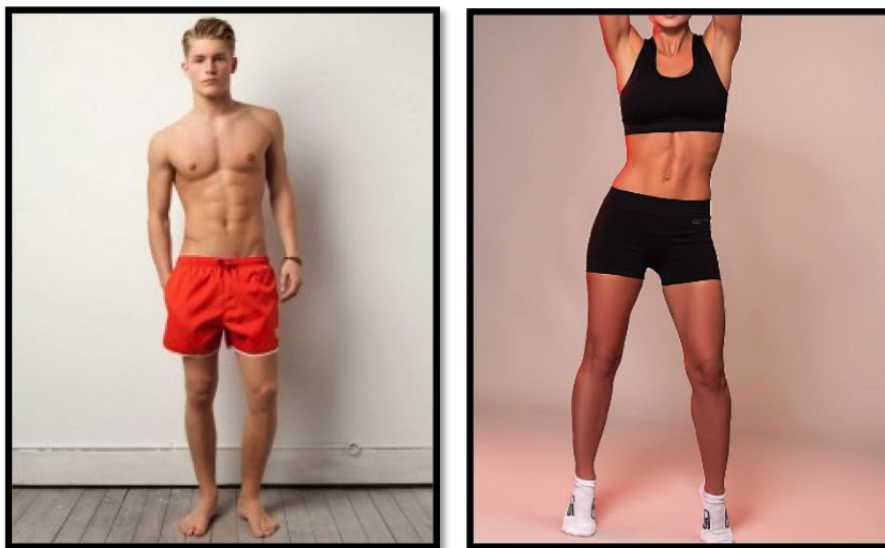
Fecha (Día/mes/año)\_\_\_\_\_

Nombre Colaborador 4: Inés Eliana Olivares Iturra

Firma \_\_\_\_\_

Fecha (Día/mes/año)\_\_\_\_\_

#### Anexo 14 Ropa Sujeto Masculino y Femenino



#### Anexo 15 Posición del sujeto y silla.



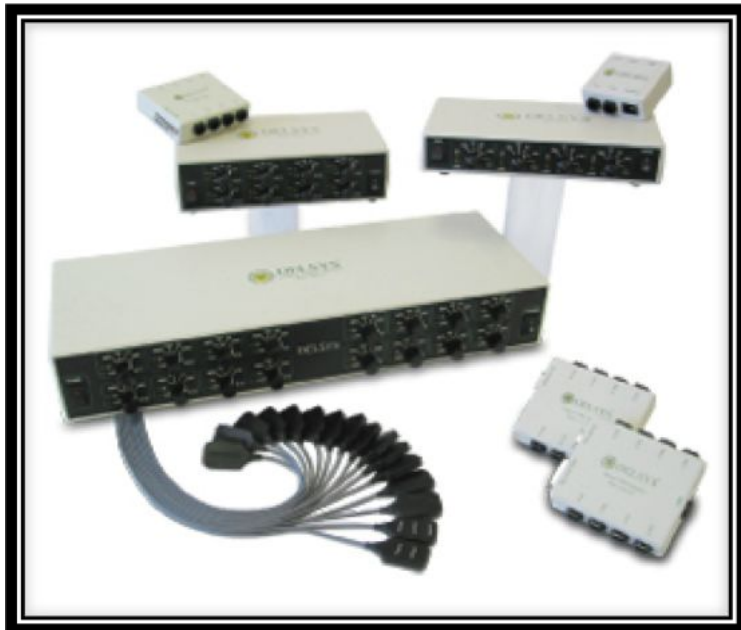
(60) VOLUNTEERING IN CUSCO. . <http://volunteering-peru.com/blog/la-meditacion/>  
(accessed 07 de Agosto del 2014).

Anexo 16 Espirómetro



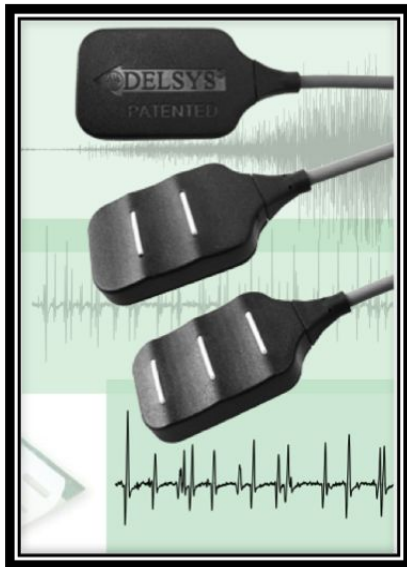
(61) Diagnostics Corporation. <http://mgcdiagnostics.com/products/view/cpfs-d-usb> (accessed 07 de Agosto del 2014).

#### Anexo 17 Electromiógrafo



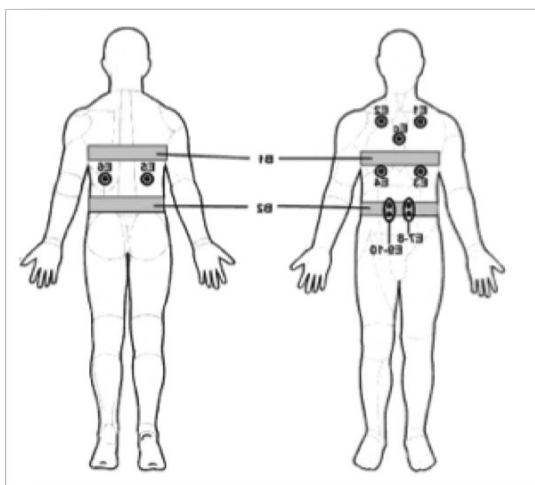
(62) DELSYS . <http://www.delsys.com/products/desktop-emg/bagnoli-desktop/> (accessed 30 de Julio del 2014).

#### Anexo 18 Electrodo



(63) DELSYS . <http://www.delsys.com/products/desktop-emg/bagnoli-desktop/>  
 (accessed 20 de Julio del 2014.

#### Anexo 19 Posición de electrodos



(64) E. J. W. Maarsingh. Respiratory muscle activity measured with a noninvasive.EMG technique: technical aspects and reproducibility (2000).

Anexo 20 Ficha de recolección de datos



Ficha recolección de Datos

**Folio N°:** \_\_\_\_\_

**Nombre del Evaluador:** \_\_\_\_\_

Fecha:	Hora Inicio:	Hora Termino:	
Datos Sujeto			
RUN:	Pimáx	Peso:	Estatura:

	Basal:			
			PAM:	IMC:
Signos Vitales				
PA:	FR:	FC:	T°:	SatO:
Valores ambientales				
Temperatura:	Humedad:		Presión:	

### DATOS ESPIROMÉTRICOS

Carga $P_{i_{m\acute{a}x}}$	Carga en cm de $H_2O$	CVL (lts)	Observaciones
0%			
10%			
20%			
30%			

40%			
50%			

DATOS ELECTROMIOGRÁFICOS

Carga presión Insp. máxima	Carga en cm de H <sub>2</sub> O	Amplitud registrada			Observaciones
		Diafragma	ECOM	Intercostales	
0%					
10%					
20%					
30%					
40%					



50%					

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_